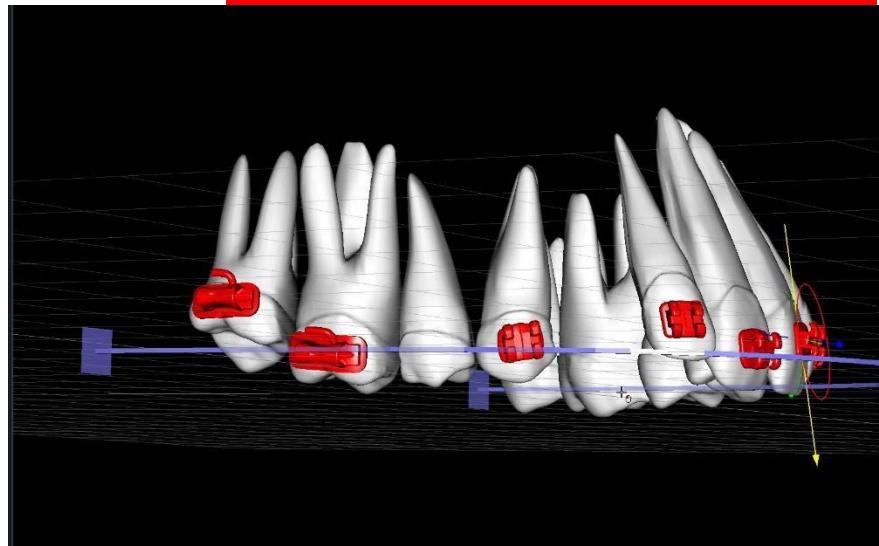




**IFDE**  
INTERNATIONAL  
FOUNDATION FOR DENTAL EDUCATION

# Vật lý học trong Chỉnh nha



Dr. Jean-Marc Retrouvey, DMD, M.Sc UMKC

Dr Katherine Koussaie , D.M.D McGill

Translation: Dr. Lein Than FOS-HO Chi Minh City

# CƠ HỌC CĂN BẢN ÁP DỤNG TRONG CHỈNH NHA

Dr. Jean-Marc Retrouvey

Dr. Katherine Kousaie

*Translator: Dr Pham Dung*

## 1. NỘI DUNG

## 2. Giới thiệu

## 3. Cơ học căn bản

- 3.1. Ba định luật Newton
- 3.2. Định luật thứ nhất
- 3.3. Định luật thứ hai
- 3.4. Định luật thứ ba

## 4. Khái niệm về lực

- 4.1. Lực đơn giản
  - 4.1.1. Định nghĩa
  - 4.1.2. Điểm đặt lực
  - 4.1.3. Đường tác dụng của lực bao gồm hướng và cường độ
  - 4.1.4. Định luật truyền qua của lực
  - 4.1.5. Điểm tác động của lực
  - 4.1.6. Tâm khối

## 5. Tâm cản (CR)

- 5.1. Sự biến thiên của tâm cản trong tương quan với mô nha chu nâng đỡ
  - 5.1.1. Tâm cản của một răng đơn lẻ
  - 5.1.2. Tâm cản của một nhóm răng
  - 5.1.3. Tổng hợp lực

## 6. Tâm xoay

- 6.1. Giản đồ lực

## 7. Sự di chuyển của răng

- 7.1. Tịnh tiến
- 7.2. Xoay (thuần túy)
- 7.3. Nghiêng
  - 7.3.1. Nghiêng không kiểm soát: Khi một lực đặt lên thân răng, thân răng di chuyển theo một hướng và chân răng di chuyển theo hướng ngược lại. Trong trường hợp này, tâm xoay ở gần hoặc nằm về phía chóp so với tâm cản, vì vậy răng xoay xung quanh tâm cản (Hình 30)

7.3.2. Nghiêng răng có kiểm soát: tâm xoay nằm tại chóp răng. Điều này liên quan đến một moment và một lực, và răng nghiêng xung quanh tâm xoay (hình 31)

7.3.3. Di chuyển chân răng

7.3.4. Lún/trồi

## **8. Hệ thống lực**

8.1. Moment

8.2. Ngẫu lực

8.3. Tỷ lệ Moment/Lực

8.4. Sự di chuyển khi thay đổi lực và hệ thống

8.5. Hệ lực cân bằng

## **9. Neo chặn**

9.1. Áp dụng

9.1.1. Kéo lui răng nanh

9.1.2. Trồi răng để làm dài thân răng lâm sàng và cấy implant

## **10. Gợi ý đọc thêm**

## **2. GIỚI THIỆU**

---

Chỉnh nha được xây dựng trên các nguyên tắc cơ bản của vật lý, liên quan đến các vật thể chuyển động trong không gian. Đương nhiên, những chuyển động trong chỉnh nha được thực hiện phức tạp hơn, bởi vì những chủ thể chuyển động này nằm trong miệng và chịu nhiều hệ thống lực phức tạp hơn những gì mà cơ học đơn giản có thể dự đoán được. Cơ sinh học (Biomechanics) là một phần quan trọng của chỉnh nha và là sự nghiên cứu về cân bằng tĩnh, và những tác động của lực lên hệ thống sinh học. Cuốn sách này sẽ cố gắng đơn giản hóa cơ sinh học trong chỉnh nha và cung cấp một nền tảng áp dụng trên lâm sàng.

## **3. CƠ HỌC CĂN BẢN**

---

Có một vài khái niệm vật lý cơ bản cần được xem xét trước khi đi sâu vào cơ học trong chỉnh nha và những ứng dụng của nó trong các ca lâm sàng.

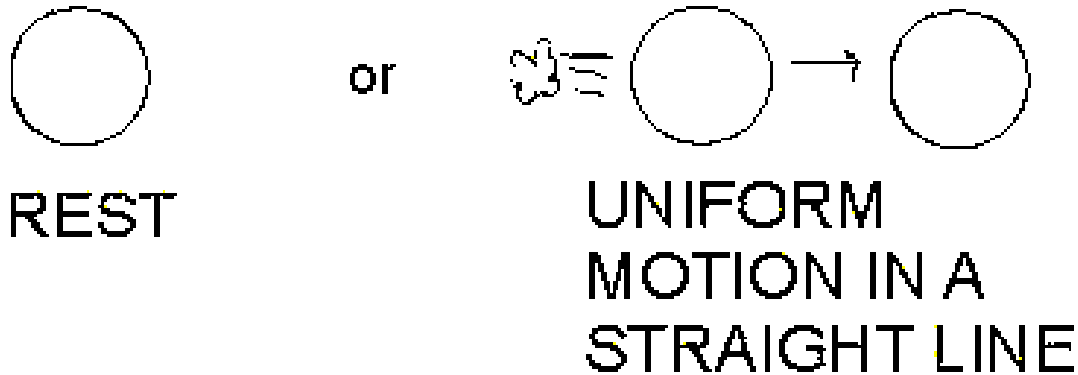
Trong chỉnh nha, chúng ta sử dụng 3 định luật Newton để giải thích tác động của các lực lên một vật thể.

### **3.1. Ba định luật Newton**

Các định luật Newton mô tả chuyển động của một vật thể khi chịu tác động của các lực. Định luật hai và ba có vai trò quan trọng nhất trong chính nha.

### 3.1.1. ĐỊNH LUẬT I

*Khi không có ma sát, một vật sẽ đứng yên hoặc tiếp tục chuyển động thẳng đều nếu các lực tác động lên nó không thay đổi.* Định luật I Newton về cơ bản mô tả khái niệm của quán tính, hay đáp ứng của một vật thể (hay sức kháng) đối với chuyển động dưới tác động bởi một lực (Hình 1).



Hình 1: Định luật I Newton

### 3.2 ĐỊNH LUẬT HAI

Gia tốc của một vật cùng hướng với lực tạo ra nó và phụ thuộc vào độ lớn của lực và khối lượng của vật.

$$\mathbf{F}_{\text{net}} = \mathbf{m a}$$

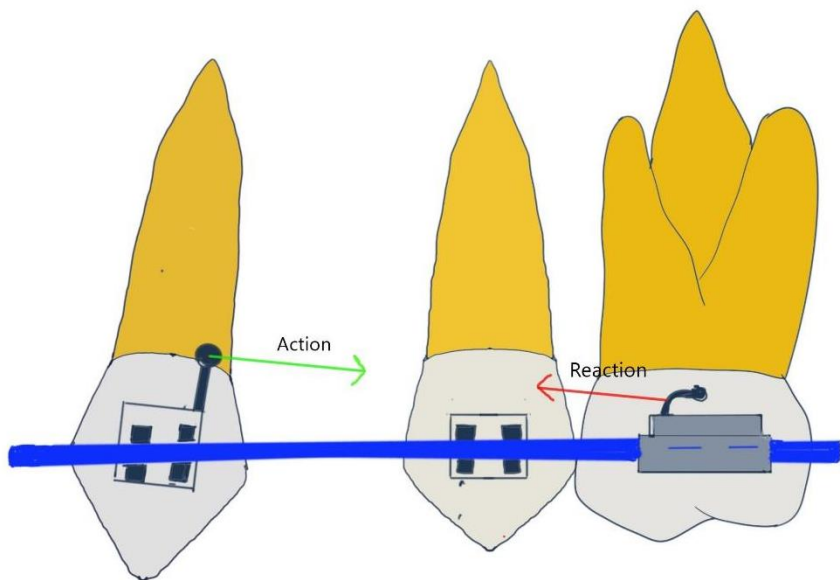
(Lực= khối lượng x gia tốc)

### 3.3 ĐỊNH LUẬT III

Định luật thứ ba của Newton phát biểu rằng với mọi hành động hoặc lực tác động bao giờ cũng có một phản lực có cùng độ lớn (theo hướng ngược lại). Theo định luật này, bất cứ khi nào hai vật tương tác với nhau, chúng sẽ tác dụng lực và phản lực lên nhau. Với bất kỳ tương tác nào đều sẽ có một cặp lực. Các lực trong cặp này (lực và phản lực) là các vectơ có độ lớn và hướng. Độ lớn của lực tác dụng lên vật thứ nhất bằng độ lớn của lực tác dụng lên vật thứ hai và hướng của lực tác dụng lên vật thứ nhất có hướng ngược với lực tác dụng vào vật thứ hai.

Xét tương tác giữa bánh xe ô tô và mặt đường. Khi bánh xe quay, chúng tác động lực lên đường. Ngược lại, mặt đường cũng tác động một lực lên bánh xe với cường độ bằng và hướng ngược lại với lực mà bánh xe tác động lên mặt đường. Theo một nghĩa nào đó, bánh xe đẩy mặt đường về phía sau, còn mặt đường đẩy bánh xe về phía trước (lực bằng nhau và ngược hướng), cho phép ô tô chuyển động về phía trước.

Trong miệng, chúng ta có thể quan sát thấy nhiều ví dụ về hệ thống lực và phản lực khi kéo lui răng nanh. Lò xo kéo răng nanh về phía sau bằng một lực có cường độ nhất định. Khi dùng răng sau làm neo chặn thì sẽ có một lực có cường độ cân bằng và hướng ngược lại kéo răng hàm ra phía trước (Hình 2). Đây có thể là một tác động không mong muốn. Khi lên kế hoạch điều trị thì cần phải chú ý và loại bỏ, hoặc giảm thiểu những tác động không mong muốn này.



Hình 1: Lực và phản lực tổng hệ thống cân bằng. Đây là bản vẽ đơn giản hóa.

## 4. KHÁI NIỆM VỀ LỰC

---

### 4.1. Lực đơn giản

#### 4.1.1. Khái niệm

Lực là bất kỳ tác động nào tạo ra sự thay đổi trong chuyển động của một vật. Lực được đo bằng ounces, grams hoặc Newtons (khoảng 100gr trên 1 Newton trên Trái đất vì gia tốc gây ra do trọng lực được coi là không đổi và bằng  $9,807 / s^2$ ). Trong chỉnh nha, đơn vị của lực thường là gam (2).

## Hướng và độ lớn của một lực

Vì một lực là một vectơ nên hướng của lực được biểu diễn bởi một mũi tên chỉ cùng chiều với chuyển động của răng.

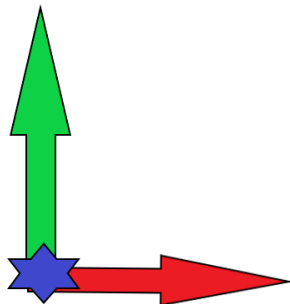
Độ lớn được biểu thị bằng chiều dài của mũi tên theo quy ước (hình 3).



Hình 2: Lực đơn giản với hướng và cường độ

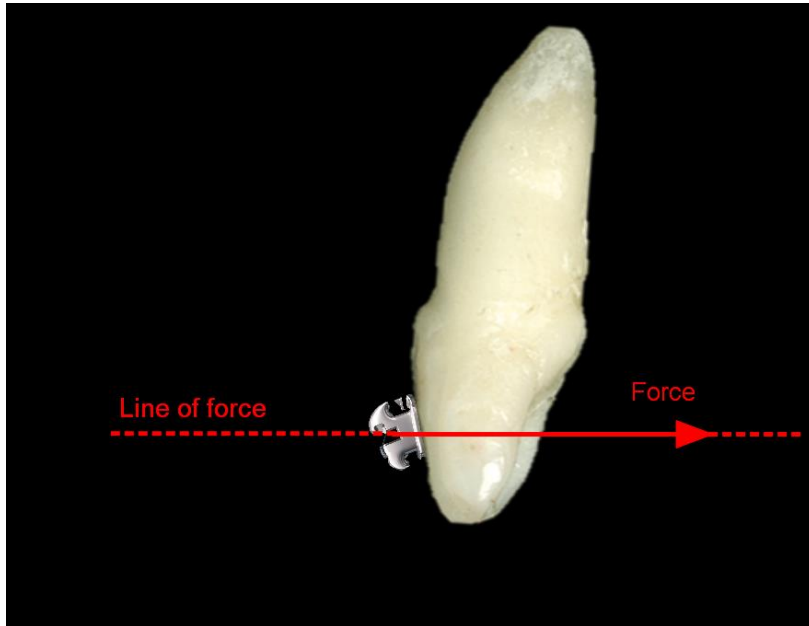
### 4.1.2. Điểm đặt

Điểm đặt của lực là vị trí mà lực tác động lên vật thể, theo quy ước là điểm bắt đầu của mũi tên. Vị trí của điểm đặt lực liên quan đến tâm của khối vật thể (tâm khối) do vị trí chính xác này sẽ quyết định xu hướng chuyển động của vật thể là tịnh tiến hay xoay khi chịu tác động của lực này.



Hình 3: Điểm đặt lực

Trong hình 4, lực màu xanh và màu đỏ ở các hướng khác nhau nhưng lại có chung điểm đặt.

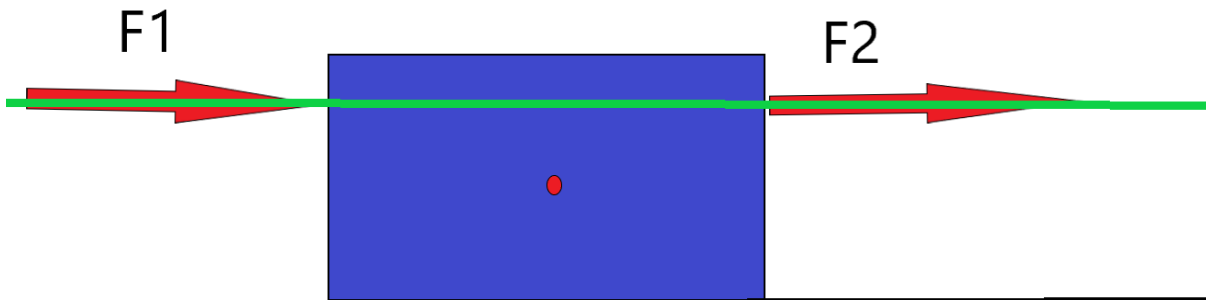


Hình 4: Một lực đơn giản tác động lên mắc cài của răng cửa giữa. Đường biểu diễn của lực minh họa hướng của vector lực

#### 4.1.3. Đường tác dụng lực bao gồm hướng và cường độ

Đường tác dụng là biểu diễn hình học lực tác dụng (Wikipedia). Đường tác dụng là trục của độ dời khi có lực tác dụng. Hướng của lực được đánh dấu bằng mũi tên. Độ lớn là độ dài của mũi tên theo quy ước.

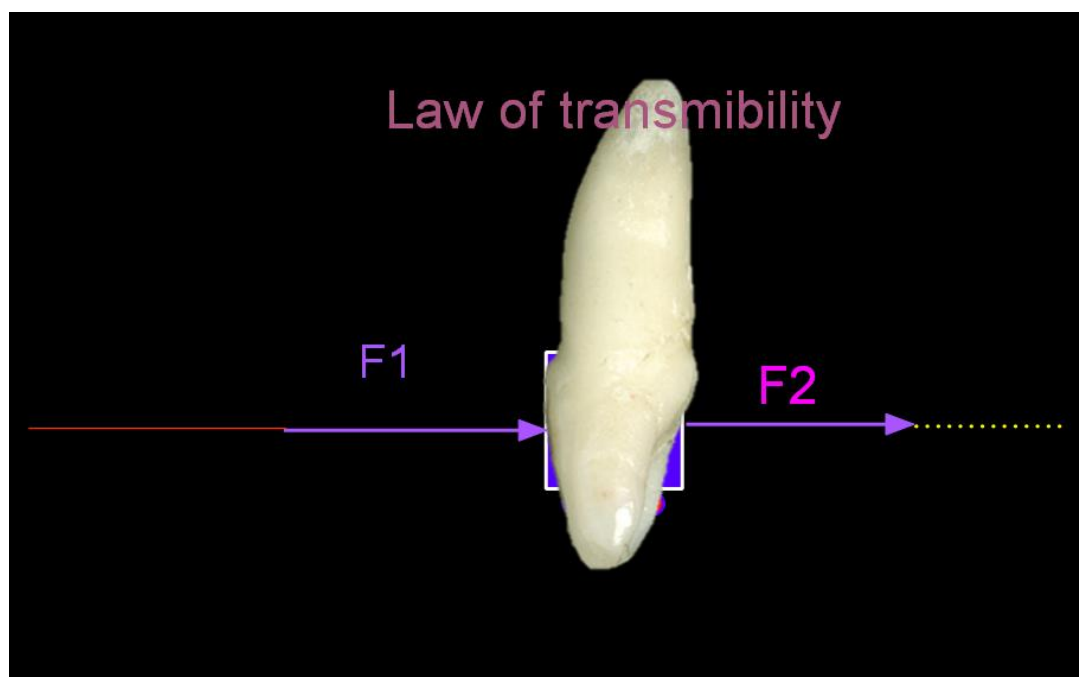
Hai lực có biên độ bằng nhau tác dụng cùng hướng và nằm trên cùng một đường tác dụng sẽ có tác động như nhau lên một vật cứng. Ở hình 6,  $F_1$  và  $F_2$  sẽ cùng tác dụng lên vật màu xanh dưới đây. Dù một lực là lực đẩy còn lực kia là lực kéo thì cũng không quan trọng. Hiệu ứng sẽ giống hệt nhau.



Hình 5: Đường tác dụng lực

#### 4.1.4. Định luật truyền qua của lực

Tác động của một lực lên một vật thể sẽ giống nhau tại bất kì vị trí nào dọc theo đường tác dụng của lực (hình 7). Ví dụ, nếu đường tác dụng lực là trục dọc của răng thì không quan trọng là lực tác dụng lên rìa cắn, lên mắc cài hay cingulum, miễn là có cùng hướng và độ lớn thì tác động lên răng là như nhau.



Hình 7: Định luật truyền qua của lực:  $F_1$  và  $F_2$  có cùng tác động.

#### 4.1.5. Điểm đặt lực

Định luật truyền qua của lực cho chúng ta biết rằng, những lực có hướng và cường độ giống nhau sẽ có tác dụng như nhau không quan trọng điểm đặt lực nằm ở đâu trên cùng một đường tác dụng lực.

**Scalars** được sử dụng để mô tả lực, scalars có cường độ nhưng không có hướng. **Vectors** có cường độ và hướng (vectors được sử dụng trong giản đồ lực)

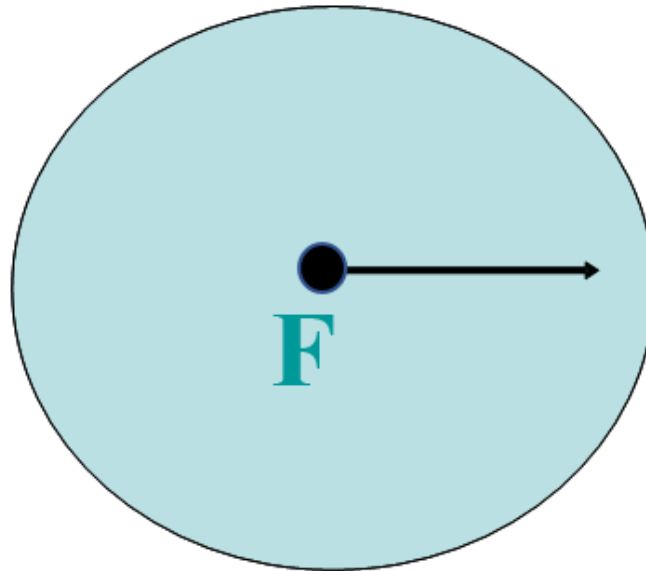
**Vật thể cứng:** không thay đổi hình thể dưới tác động của lực (chẳng hạn như lực nén và lực kéo). Răng là một vật thể cứng, nhưng mô mềm thì không phải! ❗

#### 4.1.6. Tâm khối (Centre of Mass)

Tâm khối biểu thị điểm cân bằng của một hệ thống. Trong một vật thể đơn giản như chiếc răng, tâm khối là một điểm mà vị trí của phân phối khối lượng bằng 0. Nếu không có (những) lực tác động lên một vật có khối lượng thì nó sẽ hoạt động giống như là toàn bộ khối lượng của nó chỉ tập trung vào một điểm (là tâm khối).



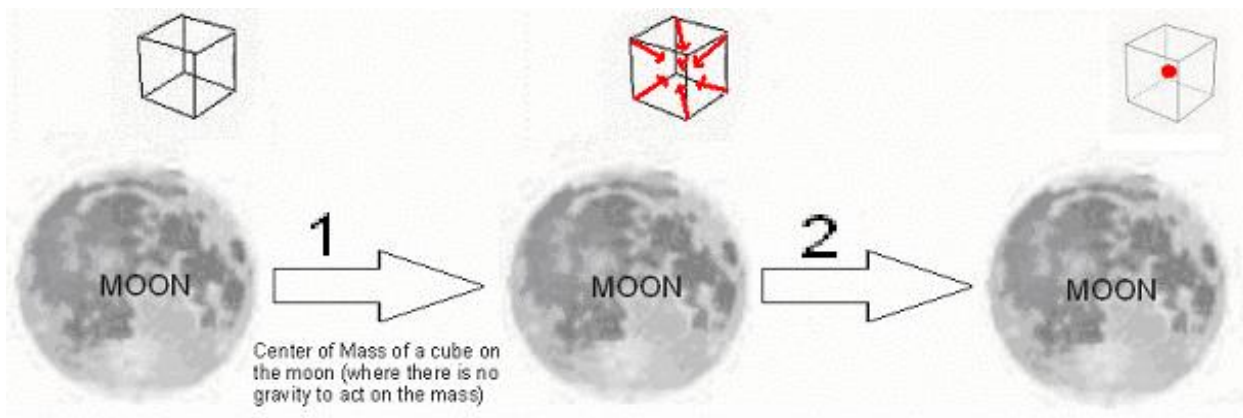
# 1. Centre of Mass: balance point of a system



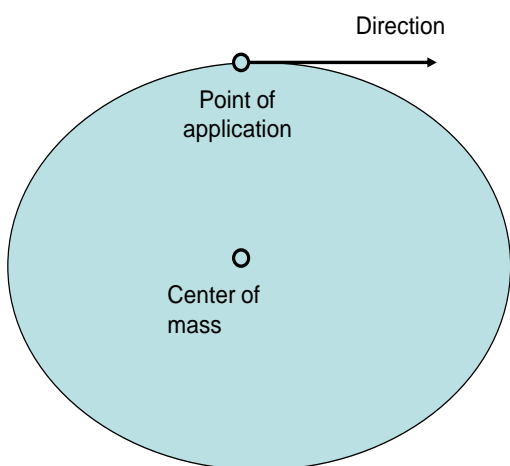
*Hình 8: Tâm khối*

Nếu lực đi qua tâm khối thì rỗng sẽ di chuyển theo hướng của lực mà không có bất kỳ chuyển động xoay nào (tĩnh tiến thuần túy).

Điều này giống với một chiếc hộp, hay bất kỳ vật thể nào khác được đặt lên mặt phẳng (hoặc môi trường không có lực tác động lên rỗng) (Hình 9). Đây rõ ràng không phải là một tình huống thực tế mà giống một khái niệm lý thuyết hơn!



Hình 9: Tâm khối của mặt trăng.

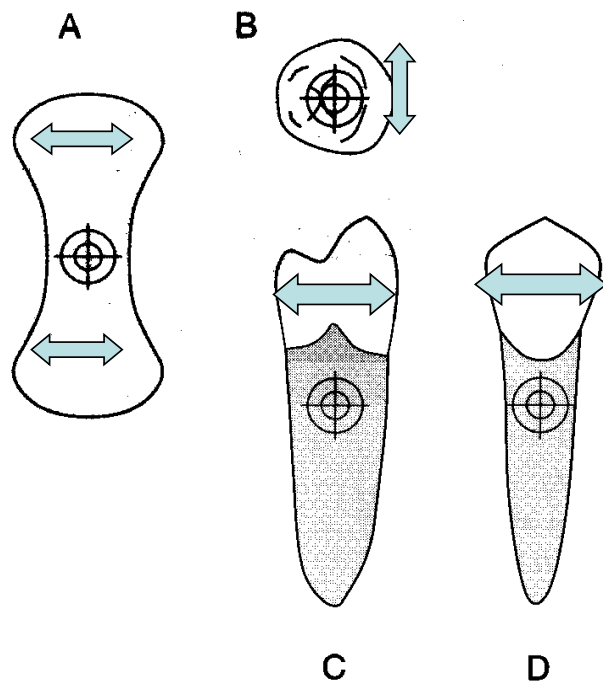


Hình 10: đường tác dụng lực đặt xa so với tâm khối

Nếu đường tác dụng của lực trong giản đồ lực được đặt xa so với tâm cản thì sẽ có xảy ra cả chuyển động xoay và chuyển động tịnh tiến (hình 10).

## 5. TÂM CẢN (CR):

Tâm cản là một khái niệm quan trọng trong chỉnh nha do răng không phải là một vật thể tự do, chân răng được giữ trong xương ổ răng bởi các dây chằng quanh răng. Tâm của khối vật thể (tâm khối) và tâm cản không nằm cùng một vị trí. CR nằm ở phía chóp so với tâm khối. Đó là một điểm toán học mà tất cả các lực cản đối với sự dịch chuyển được cho là tập trung tại đó. Các tính toán hệ thống lực tác động liên quan đến khả năng di chuyển tịnh tiến và di chuyển xoay được thực hiện trong mối liên quan đến tâm cản.



Hình 11: Vị trí của tâm cân ở nhiều hướng khác nhau:

- A. Vuông góc
- B. Nhìn từ phía mặt nhai
- C. Hướng ngoài trong
- D. Hướng gần xa
- E.

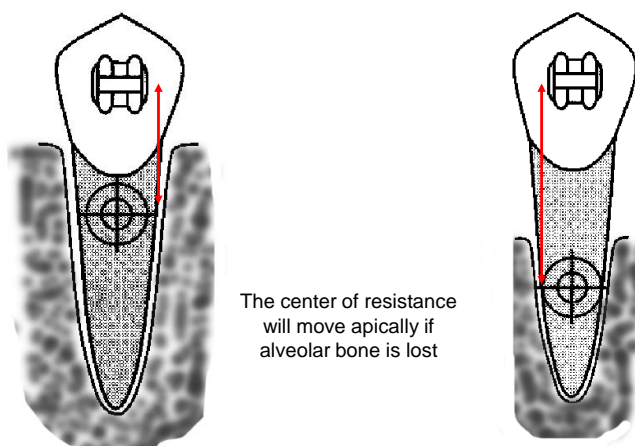
Tâm cân thay đổi theo từng răng và tùy theo tình trạng mô nha chu xung quanh. Tâm cân nằm gần mức giữa chân răng. (hình 11)

Tâm cân liên quan đến tất cả các lực tác động lên vật thể. Đối với một răng, nó bao gồm lực từ dây chằng quanh răng (PDL), mạch máu, xương và mô liên kết (hình 12). Tâm cân có thể xem xét trên một răng riêng lẻ, hoặc trên một nhóm răng nếu chúng được liên kết lại với nhau (khi đó chúng giống như một khối vật thể lớn hơn).

Tầm quan trọng của tâm cân: Khi tác động lực lên răng, bắt buộc phải đánh giá tác động ba chiều của chúng và những chuyển động kết quả xảy ra khi tác động hệ thống lực này lên răng.

### 5.1. Sự thay đổi của tâm cân liên quan đến mô nha chu nâng đỡ

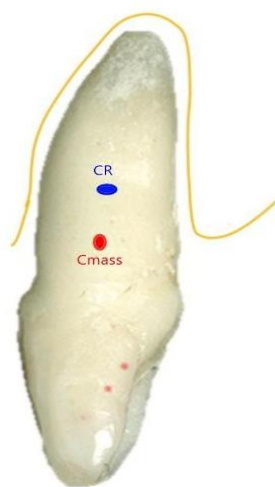
## Alveolar bone support



Hình 12: Tâm cản di chuyển về phía chóp khi có tiêu xương ngang.

Khi bệnh nhân bị tiêu xương ổ răng, mào xương ổ răng di chuyển về phía chóp. Tâm cản của răng sẽ di chuyển về phía chóp một cách đáng kể, và khoảng cách từ mắc cài đến tâm cản tăng lên gần gấp hai lần (hình 12). Nếu cùng tác động một lực như nhau lên mắc cài của cả hai răng này thì sẽ xảy ra sự di chuyển răng khác nhau. Răng bên phải sẽ có xu hướng xoay nhiều hơn do bị tăng khoảng cách của đường tác động lực tại tâm cản.

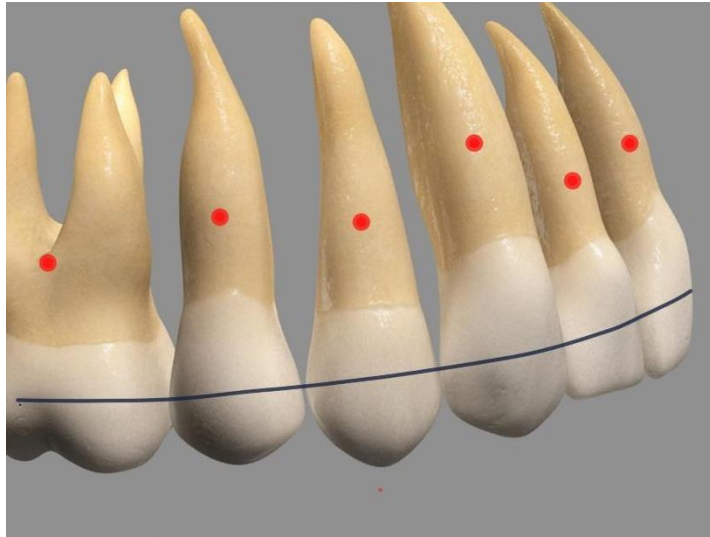
### 5.1.1. Tâm cản của một răng đơn lẻ



Hình 13: Tâm cản (CR) và tâm khối (Cmass) của răng một chân

Tâm khối luôn ở phía mặt nhai hơn so với tâm cản do “sự cản” của dây chằng quanh răng và xương ổ răng. Do không thể xác định chính xác sức cản này trên mỗi răng và trên mỗi bệnh nhân nên tâm cản chỉ là một khái niệm lý thuyết nhưng có thể được sử dụng như là một giá trị trung bình để tạo ra hệ thống lực tối ưu.

Trong các trường hợp mô nha chu giống nhau, tâm cản của những răng khác nhau sẽ ở mức khác nhau. Răng nanh hàm trên sẽ có tâm cản cao hơn trong khi tâm cản của răng hàm nhỏ và răng cửa bên lại thấp hơn.

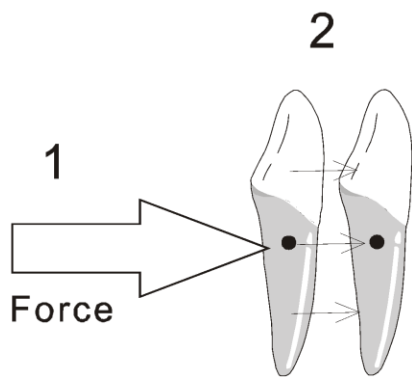


F D E

Hình 14: Vị trí tâm cản khác nhau (khi coi mô nha chu là đồng đều và bình thường)

Do đó, rõ ràng là tâm cản khác nhau giữa các răng có chiều dài và giải phẫu chân răng khác nhau, ví dụ giữa răng cửa và răng hàm lớn, hay răng hàm nhỏ và răng nanh. Vị trí này cũng thay đổi theo chiều cao xương ổ răng, nên sẽ khác nhau ở bệnh nhân trẻ nhỏ so với một người trưởng thành có bệnh lý nha chu (tâm cản di chuyển về phía chóp nhiều hơn trên bệnh nhân trưởng thành có tiêu xương) (hình 14).

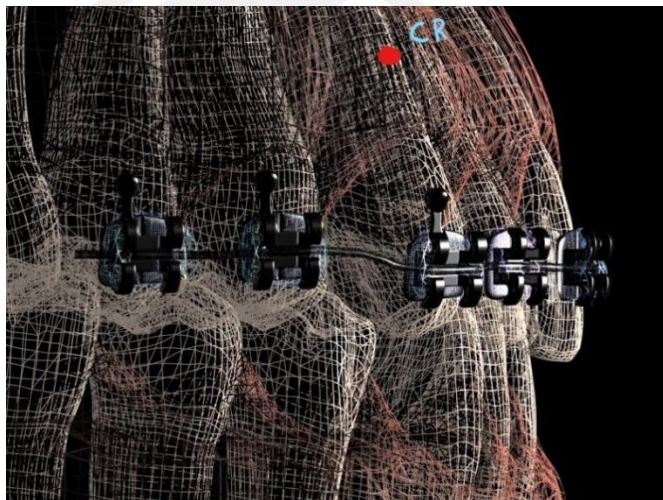
Một cách khác để suy nghĩ về tâm cản đó là một điểm thuộc vật mà tại đó một lực đơn lẻ tác động (tại điểm đó) sẽ tạo ra sự di chuyển tịnh tiến (hình 15).



Hình 15: Lực tác động tại tâm cân sẽ tạo ra chuyển động tịnh tiến đơn thuần

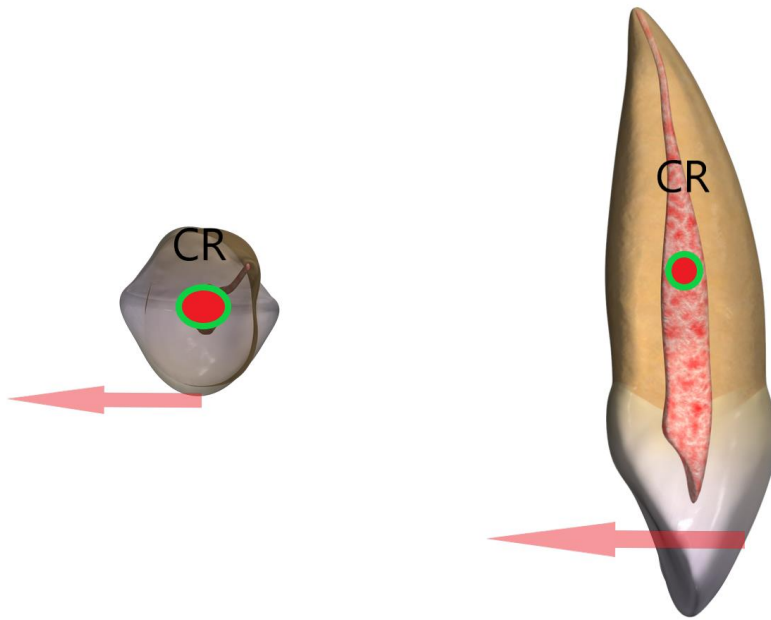
### 5.1.2. Tâm cân của một nhóm răng

Khi các răng được buộc lại với nhau bằng dây cung và mắc cài, một tâm cân mới sẽ được hình thành và khi này, nhóm răng sẽ được coi như một vật thể đơn lẻ.



F D E

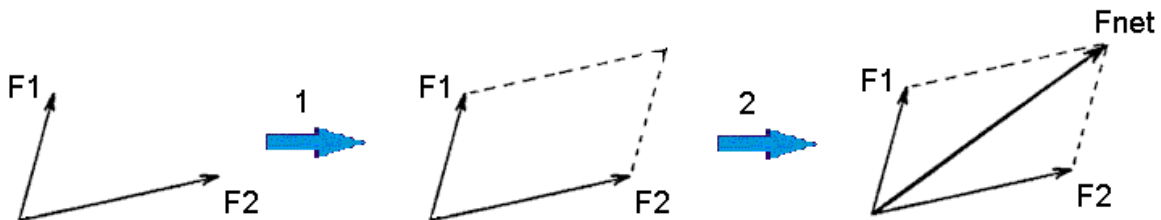
Hình 16: Tâm cân của một nhóm răng



Hình 17: Khi một lực tác dụng lên mắc cài, đường tác dụng lực luôn luôn có một khoảng cách nhất định so với tâm cân

### 5.1.3. Tổng hợp lực

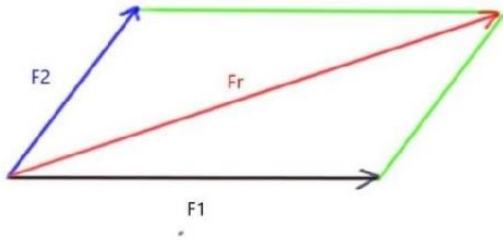
Trong chính nha, sự tổng hợp lực trong ba mặt phẳng không gian thường được sử dụng, và nó rất hữu ích trong việc tính toán tổng lực. Sử dụng quy tắc hình bình hành để tính tổng các vector lực.



Hình 18: Quy tắc hình bình hành

Điều quan trọng là cần nhớ rằng,  $F_{net}$  là lực tổng hợp, đây là vector tổng của tất cả các vector lực ( $F_1$  và  $F_2$ ). Quy tắc hình bình hành cho phép chúng ta tìm ra được lực tổng hợp: Lực  $F_1$  và  $F_2$  là những vector, có cường độ và hướng. Khi  $F_1$  và  $F_2$  hợp với nhau một góc thì một hình bình hành sẽ được tạo ra bằng cách vẽ thêm các cạnh kề của  $F_1$  và  $F_2$ . Đường chéo chạy qua hình bình hành là lực tổng hợp  $F_{net}$ .

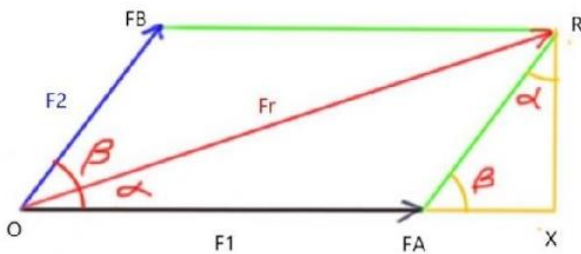
Cách tính tổng của 2 vector (xem thêm trong link sau để xem giải thích chi tiết <https://www.mathstopia.net/vectors/parallelogram-law-vector-addition>):



Hình 19: Tính vector tổng hợp lực

Để tính cường độ của lực tổng hợp  $F_r$ , chúng ta sử dụng công thức  $F_r = F_1 + F_2$ .

Ta cần kéo dài đường tác dụng của  $F_1$  ra để tạo thành một tam giác vuông  $OXR$ , điền các góc  $\alpha$  và  $\beta$ .



Hình 20: Mở rộng hình bình hành

Tính cường độ của  $F_r$ :

$$F_r^2 = OX^2 + RX^2$$

$$OX = OF_A + F_{AX} \text{ or}$$

$$F_r^2 = (OF_A + F_{AX})^2 + R_X^2$$

Sau khi khai triển hoàn toàn ta có

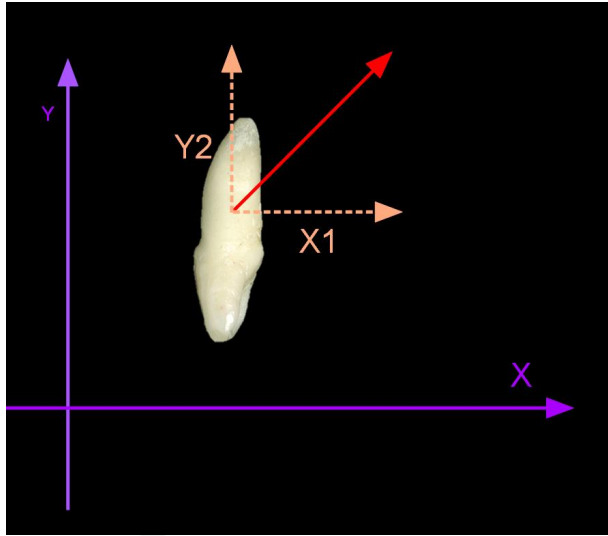
Ta biết rằng  $\cos \beta = \frac{\text{cạnh kề với góc } \beta}{\text{cạnh huyền}}$

$$F_{AX}/F_2 \text{ or } F_{AX} = F_2 \cos \beta \text{ and } \sin \beta = R_X/F_2 \text{ or } R_X = F_2 \sin \beta$$

$$F_r^2 = F_2^2 \sin^2 \beta +$$



Sau khi thay các giá trị:  $Fr = \sqrt{F1^2 + 2F1F2\cos\beta + F2^2}$



Hình 21: Tổng hợp lực khi các lực tạo góc 90 độ

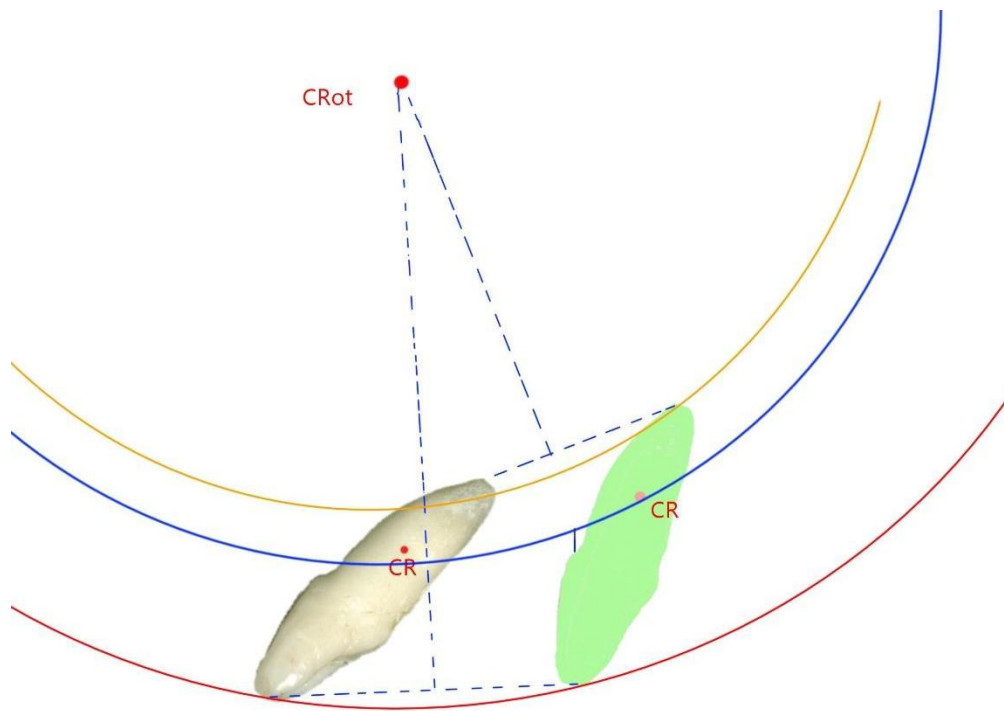
Trong trường hợp đặt các lực hợp với nhau góc 90 độ, phương trình được đơn giản hóa và trở thành:

$$Fr = \sqrt{X1^2 + FY2^2}$$

## 6. TÂM XOAY

Tâm xoay là điểm mà vật thể xoay quanh nó. Tâm xoay thay đổi theo vị trí của tâm cản và lực tác động vào vật. Chuyển động xoay thuần túy xảy ra khi tâm xoay trùng với tâm cản. Chuyển động tịnh tiến thuần túy xảy ra khi tâm xoay cách tâm cản một khoảng vô hạn.

Để xác định tâm xoay mà tại đó xảy ra chuyển động xoay của răng (Hình 22), chọn 2 điểm bất kì trên răng (hay trên vật thể), vẽ một đường thẳng đi qua các vị trí lúc trước và sau của từng điểm. Giao điểm của hai đường vuông góc với hai đường này chính là tâm xoay.

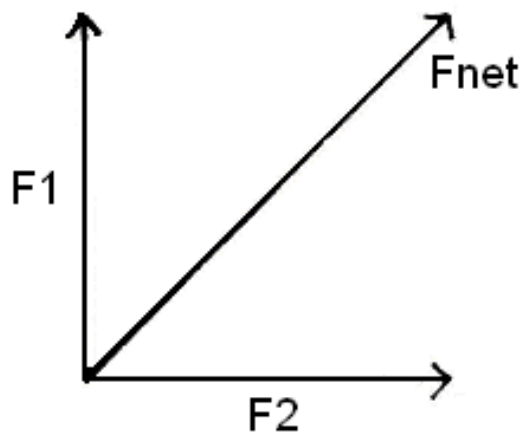


Hình 22: Cách xác định tâm xoay

### 6.1.1. Giảm đồ lực

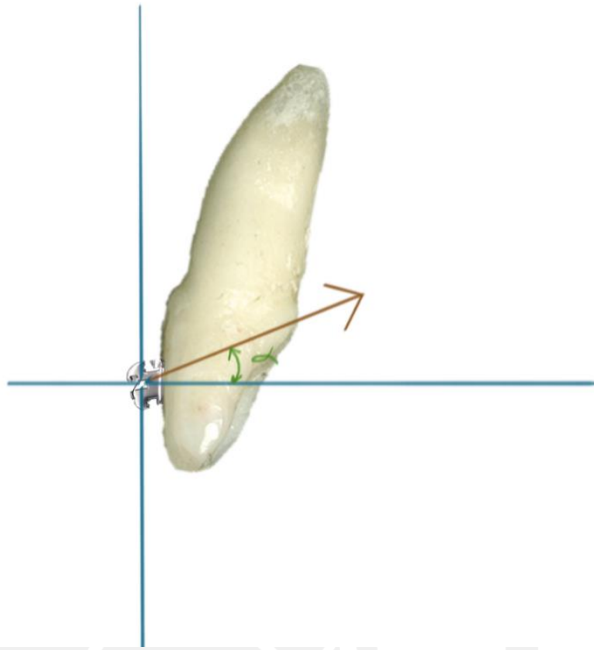
Giảm đồ lực (Free body diagrams) giúp dự đoán được tác động của các lực khác nhau lên vật thể tại cùng một thời điểm (lực tổng hợp) hoặc để phân tích lực thành các lực thành phần.

Một ví dụ của giảm đồ lực, với  $F_1$ ,  $F_2$  và  $F_{net}$  (xem lại [quy tắc hình bình hành](#)) (Hình 23)



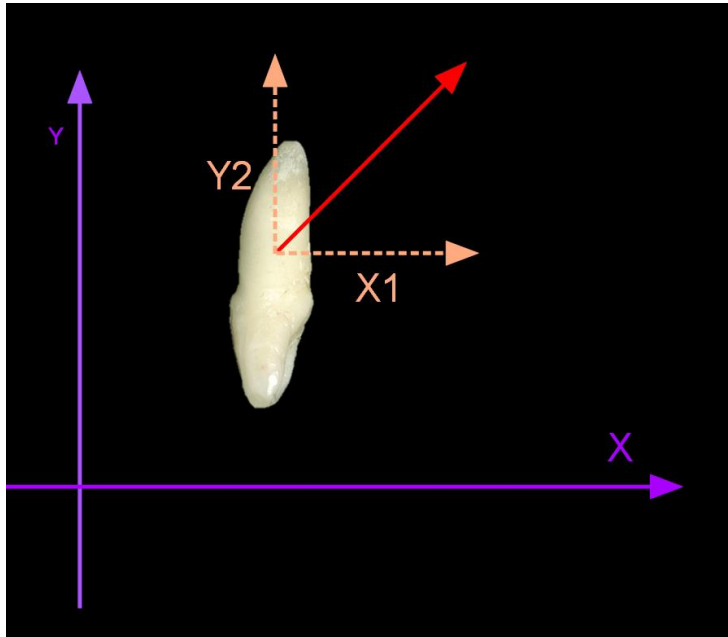
Hình 23: Giảm đồ lực

Một ví dụ lâm sàng của việc sử dụng giảm đồ lực với cung đánh lún và chun.



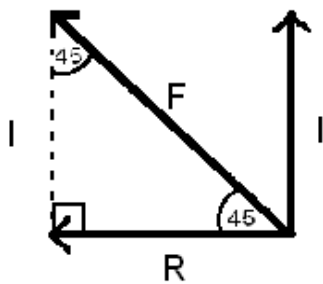
Hình 24: Lực đơn giản để đánh lún và kéo lui răng cửa

Lực  $F$  được đặt vào răng. Nó bao gồm các thành phần đánh lún và kéo lui. Nếu chúng ta biết cường độ của lực và góc lực thì ta có thể tìm được cường độ của lực đánh lún và lực kéo lui bằng cách sử dụng lượng giác đơn giản (hình 24-25).



Hình 25: Giảm đồ lực và các lực tác động từ một headgear.

Nếu ta biết  $F_{net}=500g$ , ta có thể phân tích ra I (lực lún) và R (lực kéo lui) sử dụng quy tắc tam giác vuông (hình 26).



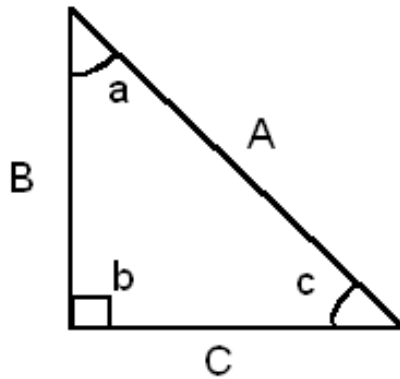
$$\sin 45 = \frac{I}{F}$$

$$\begin{aligned} I &= F \sin 45 \\ &= 500 \sin 45 \\ &= 353 \text{ g} \end{aligned}$$

$$\cos 45 = \frac{R}{F}$$

$$\begin{aligned} R &= F \cos 45 \\ &= 500 \cos 45 \\ &= 353 \text{ g} \end{aligned}$$

Như vậy, một lực 500g theo phương của  $F_{net}$  tương ứng với lực 353g theo phương I và 353g theo phương R đặt vào một vật cùng một lúc.



$$\sin a = \frac{\text{opposite}}{\text{hypoteneuse}} = \frac{B}{A}$$

$$\cos a = \frac{\text{adjacent}}{\text{hypoteneuse}} = \frac{C}{A}$$

$$\tan a = \frac{\text{opposite}}{\text{adjacent}} = \frac{B}{C}$$

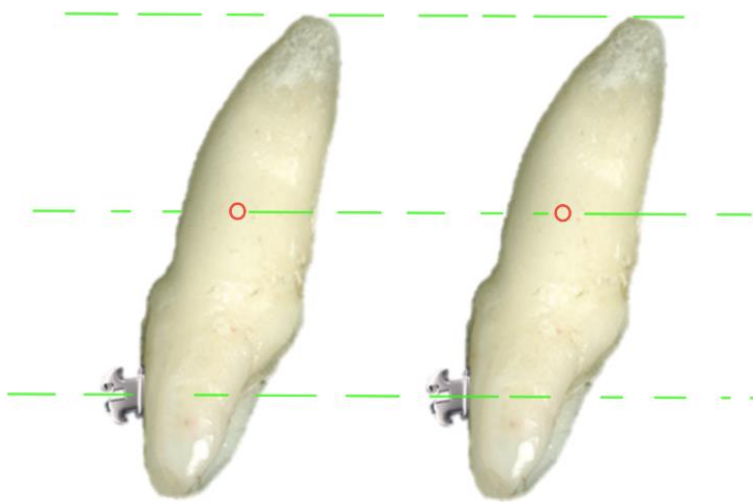
Hình 26: Công thức lượng giác

## 7. SỰ DI CHUYỂN RĂNG

Răng di chuyển trong ba chiều không gian. Điều quan trọng là phải nhận biết được các loại di chuyển khác nhau có thể có khi lập kế hoạch điều trị để tính đến các chuyển động răng mong muốn và không mong muốn.

### 7.1. Chuyển động tịnh tiến (Translation)

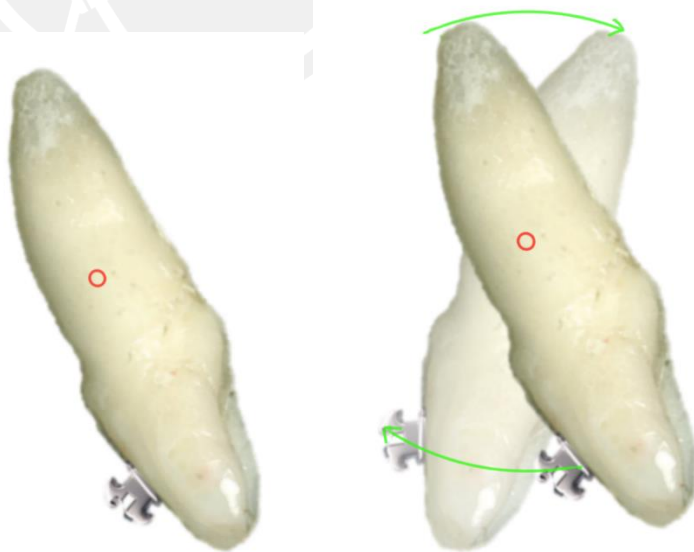
Trong chuyển động tịnh tiến, tất cả các điểm trên vật đều di chuyển theo cùng một hướng và cùng cường độ (hình 28). Tâm xoay nằm ở một khoảng cách vô hạn so với răng do không có chuyển động xoay.



Hình 28: Chuyển động tịnh tiến của răng cửa giữa

## 7.2. Chuyển động xoay (thuần túy) (Rotation (pure))

Xoay thuần túy xảy ra khi một vật xoay quanh tâm cân của nó (Cres) (nghĩa là khi tâm xoay trùng tâm cân) (hình 29).

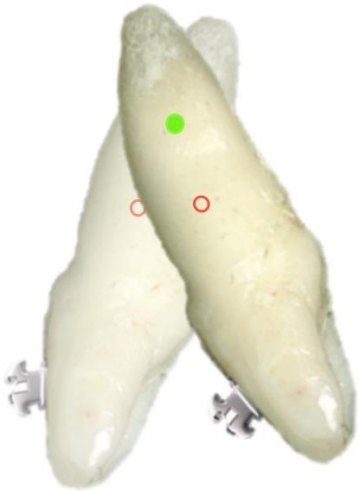


Hình 29: Chuyển động xoay thuần túy

### 7.3. Nghiêng răng (Tipping)

Với nghiêng răng, kết quả phụ thuộc vào điểm đặt lực.

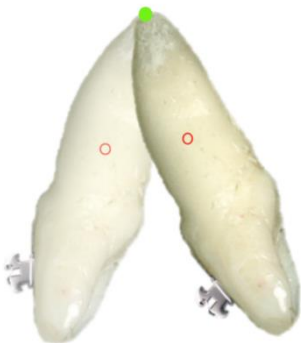
7.3.1. Nghiêng không kiểm soát (Uncontrolled Tipping): Khi một lực đặt lên thân răng, thân răng di chuyển theo một hướng, trong khi đó chân răng di chuyển theo một hướng khác. Trong trường hợp này, tâm xoay ở gần, hoặc nằm về phía chóp so với tâm cản, vì vậy răng xoay xung quanh tâm cản (Hình 30).



Hình 30: Nghiêng răng không kiểm soát.

7.3.2. Nghiêng răng có kiểm soát (Controlled Tipping):

Tâm xoay nằm ở chóp chân răng. Nó liên quan đến một moment xoay và một lực, và răng xoay xung quanh tâm xoay (hình 31).

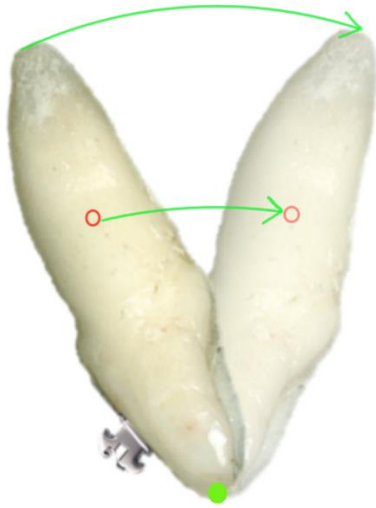


Hình 31: Nghiêng răng có kiểm soát

A) Ví dụ, trong điều trị sai khớp cắn hạng II chi I có răng cửa hàm trên ngả ngoài, việc sử dụng chuyển động nghiêng răng không kiểm soát có thể làm tiêu bản ngoài xương vò, trong khi đó nếu dùng chuyển động nghiêng có kiểm soát sẽ chỉ di chuyển thân răng, vì vậy chân răng sẽ không làm tiêu xương vò.

### 7.3.3. Di chuyển chân răng (Root movement):

Di chuyển chân răng xảy ra khi tâm xoay nằm tại hoặc nằm gần rìa cắn, và sự xoay xảy ra quanh điểm này (hình 32). Khi đó thân răng dịch chuyển ít hơn so với chân răng. Dịch chuyển chân răng mất nhiều thời gian hơn do cần phải có tiêu xương thì sự di chuyển mới diễn ra.

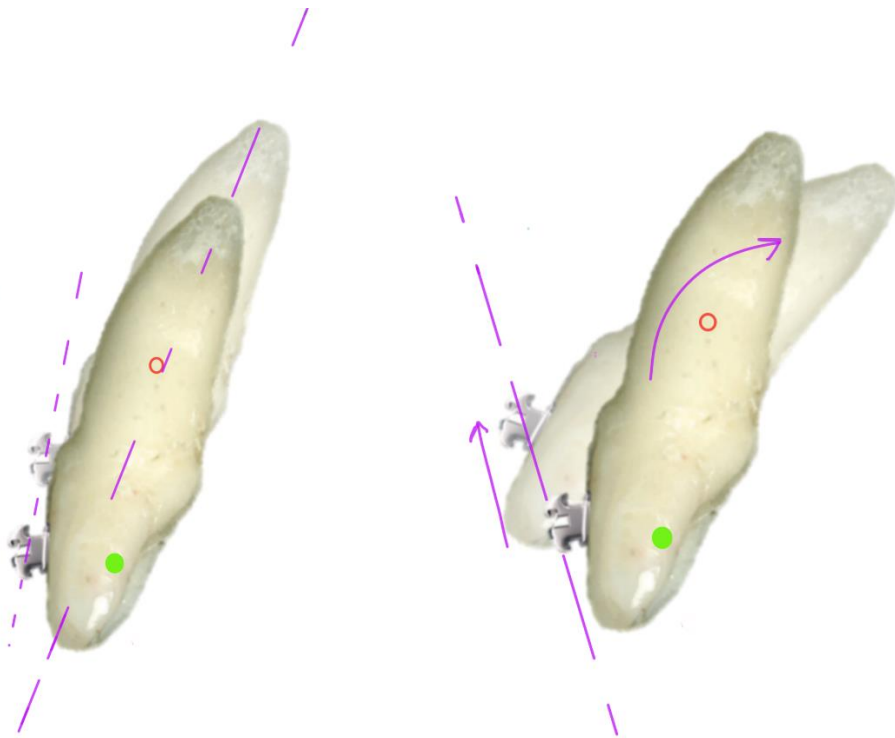


Hình 32: Di chuyển chân răng

### 7.3.4. Lún/trôi (Intrusion/Extrusion):

Lún và trôi liên quan đến chuyển động của răng dọc theo trục dài (hình 33 và 34). Xem lại [chuyển động tịnh tiến \(hình 28\)](#), trong loại chuyển động này, tâm xoay ở vô hạn (bởi vì không có chuyển động xoay). Nói cách khác, răng xoay quanh một điểm ở khoảng cách vô hạn nên chúng ta không nhìn thấy bất kỳ sự xoay nào, chỉ thấy chuyển động tịnh tiến hay chuyển động lún/trôi.

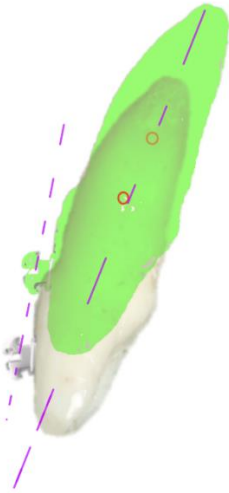




Hình 7: A. Đánh lún răng của bị trôi. B. Lún tương đối

**Lún:** Trong hình 33A (trong ví dụ tiếp sau đó, hiệu ứng không mong muốn của chuyển động lún không được xem xét đến: trong khi một răng được đánh lún, răng bên cạnh nó sẽ bị trôi nếu không được neo chặn. Xem thêm phần thảo luận về neo chặn). Đánh lún tương đối là kết quả của chuyển động nghiêng ngoài và lún (hình 33B).

**Trôi:** (Trong ví dụ tiếp theo (hình 34), hiệu ứng không mong muốn của chuyển động trôi không được xem xét đến: trong khi một răng được làm trôi, răng bên cạnh nó sẽ bị lún nhẹ nếu không được neo chặn. Xem thêm phần thảo luận về neo chặn)



Hình 34: Đánh lún một răng cửa bị trôi

## 8. HỆ THỐNG LỰC

---

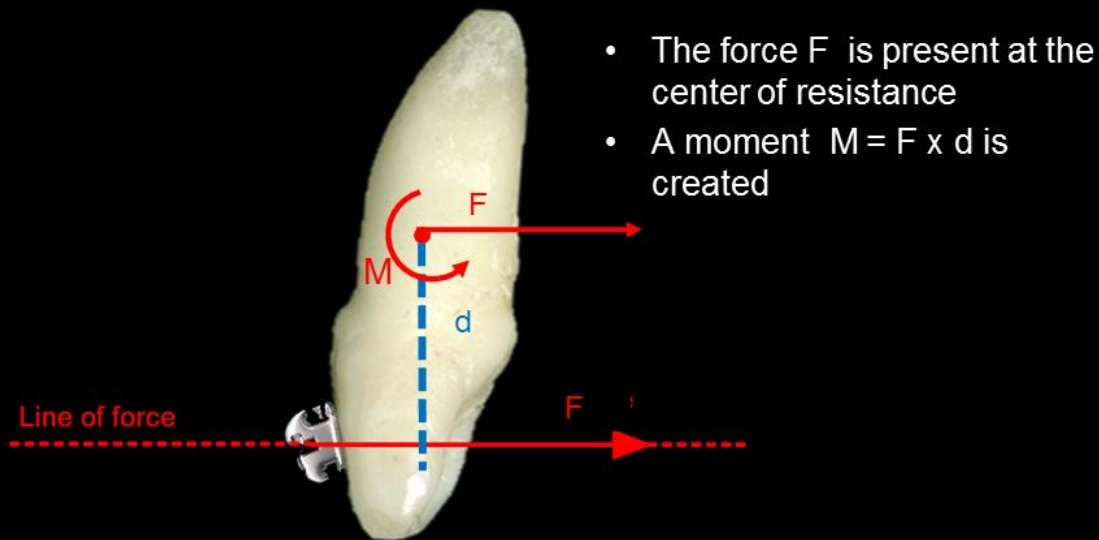
Để hiểu cách tạo ra các chuyển động răng mong muốn, chúng ta nên xem xét các hệ thống lực. Hệ thống lực được tạo thành từ một mômen và một lực, tỷ lệ của chúng xác định loại chuyển động được tạo ra. Phần này sẽ bao gồm mô men, ngẫu lực, tỷ lệ mô men và lực và các chuyển động tạo ra khi các lực và hệ thống lực thay đổi.

### 8.1 MOMENT

Momen (Moment) là xu hướng của lực trên một vật thể gây ra chuyển động xoay. Để tính mômen của một lực, ta nhân độ lớn của lực và khoảng cách vuông góc của nó với tâm của lực cản mà mômen đó tác động (Hình 35).

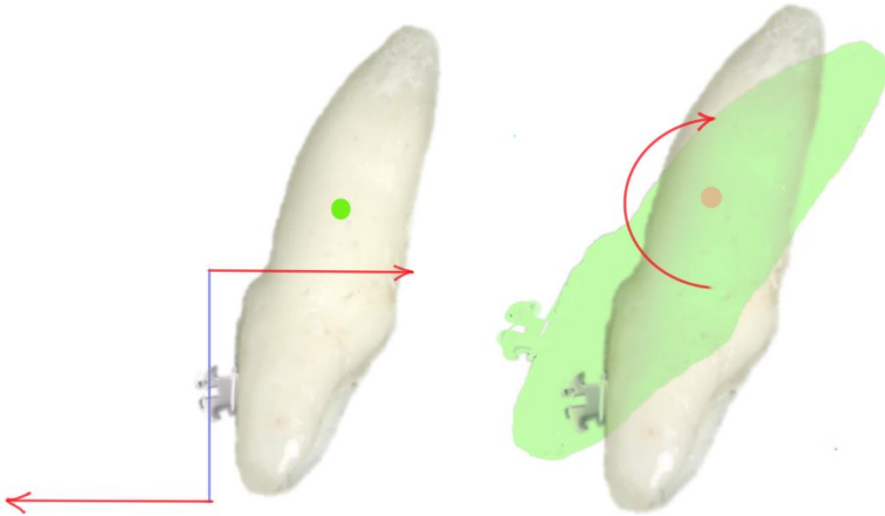
$$\mathbf{M} = \mathbf{F} \times \mathbf{d}$$

## Force system at the center of resistance

**8.2. NGÃU LỰC (FORCE COUPLE)**

Ngẫu lực là một moomen thuần túy và xảy ra khi hai lực ( $F_1$  và  $F_2$  cân bằng và ngược chiều nhau) cách nhau bởi một đường vuông góc. Để tính toán momen của ngẫu lực thì phải xét riêng từng lực.

Ví dụ:  $F_1$  và  $F_2$  không tạo ra chuyển động tịnh tiến vì chúng cân bằng và ngược chiều nhau, vì vậy chúng triệt tiêu lẫn nhau. Momen của các lực không triệt tiêu lẫn nhau vì chúng tạo ra chuyển động xoay cùng chiều (tương tự một chuyển động xoay quanh tâm cân khi các lực  $F_1$  và  $F_2$  tác động). Để tìm được momen tổng của cả hệ thống, hãy đưa thêm momen vào; đây gọi là ngẫu lực. Ngẫu lực không phụ thuộc vào vị trí đặt lực trên vật thể (hãy răng). Hãy xem xét ví dụ sau về ngẫu lực (hình 36).



Hình 36: Ngẫu lực: ví dụ 1

Do ngẫu lực không phụ thuộc vào vị trí lực tác động lên vật thể nên có thể đạt được kết quả giống như ví dụ trên bằng cách đặt lực  $F_1$  và  $F_2$  vào một vị trí mới (các vị trí mới trong ví dụ sau đây có vẻ mang tính sinh học và ứng dụng lâm sàng cao hơn).

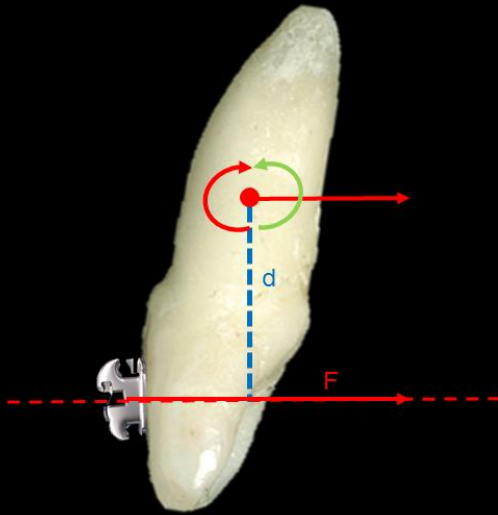
**Kết luận, không quan trọng điểm đặt của ngẫu lực nằm ở đâu trên răng, ngẫu lực tổng hợp của hệ thống này sẽ bằng một lực nhân với khoảng cách giữa các lực.**

### 8.3. TỈ LỆ MOMEN/LỰC

Tỉ số momeen/lực kết hợp chuyển động tịnh tiến và chuyển động xoay. Tỉ lệ này được xác định bằng cường độ lực nhân với khoảng cách vuông góc đến tâm của một răng hay một nhóm răng.

Những ví dụ sau đây minh họa chuyển động nghiêng răng có kiểm soát sử dụng phối hợp chuyển động tịnh tiến và chuyển động xoay (lực và momen đơn giản) (hình 38, 39).

## Moment to force ratio



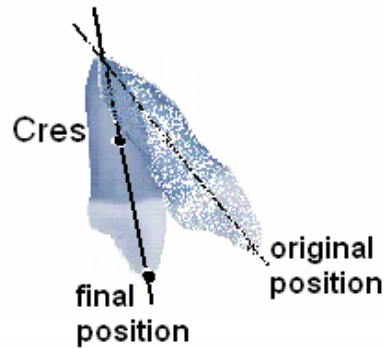
As the distance from the point of application of the force is usually around 10 mm to the center of resistance for an incisor, the moment equal  $M_f = 10 \times F$   
or  
Moment to force ratio =  $M:F = 10$ .

If a force of 100 grs is applied to the bracket, a counter moment of 1000 grmm is necessary to cancel the moment created by the simple force and obtain translation.

Hình 37: Tỷ lệ momen/lực trong chuyển động tịnh tiến

### Controlled Tipping:

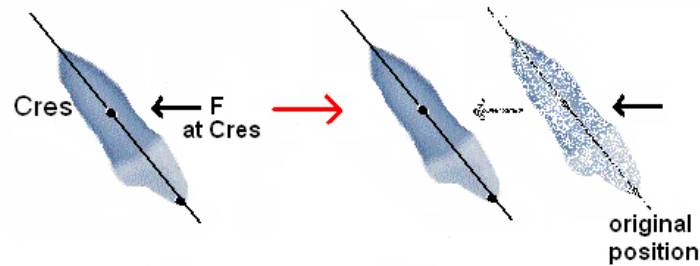
If we want the following movement:



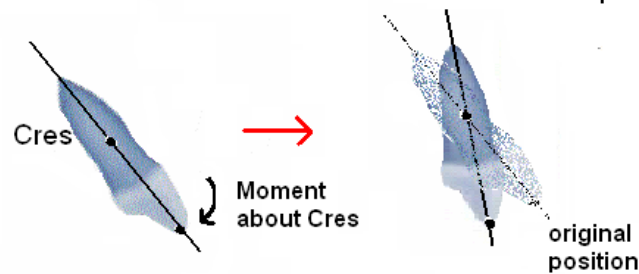
Hình 38: Chuyển động mong muốn

Break up the movement into its translation and rotation component parts

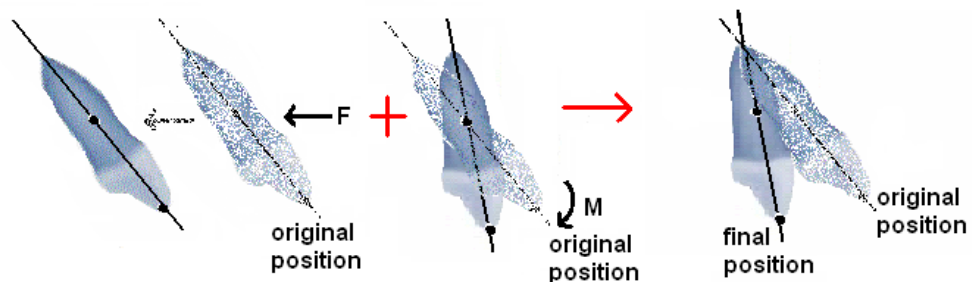
Translation:



Rotation:

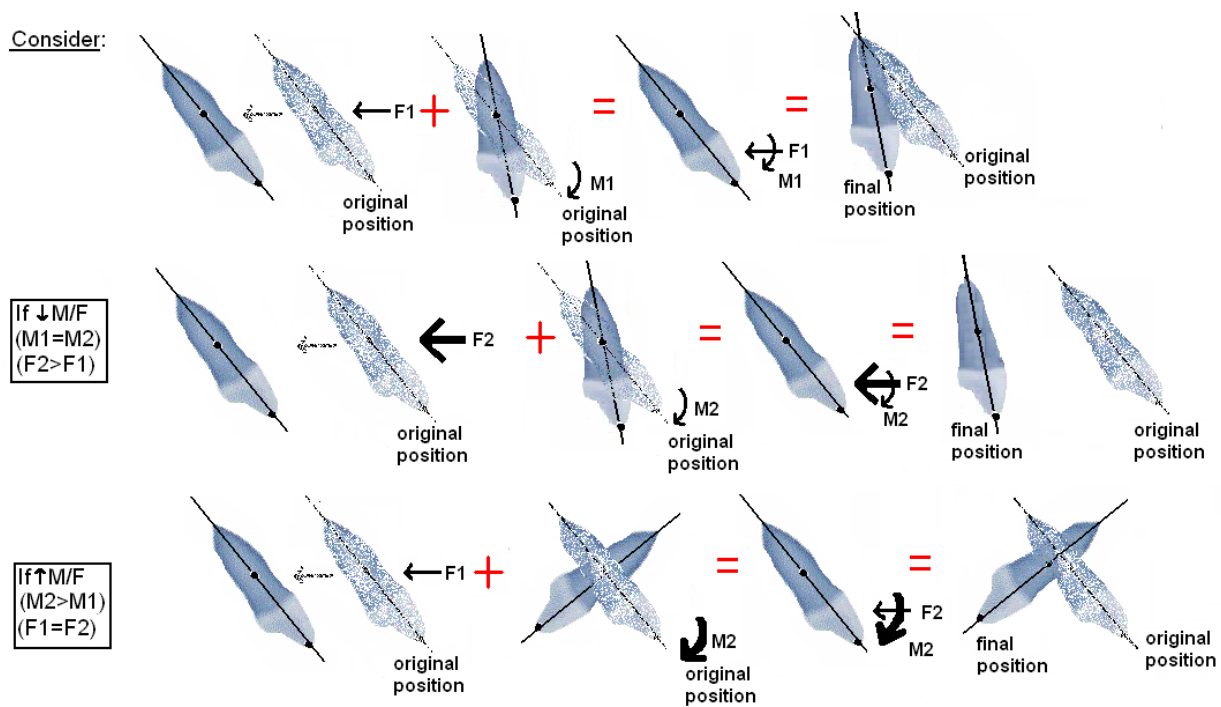


Result:



Hình 39: Phối hợp chuyển động tịnh tiến và chuyển động xoay để có được nghiêng răng có kiểm soát.

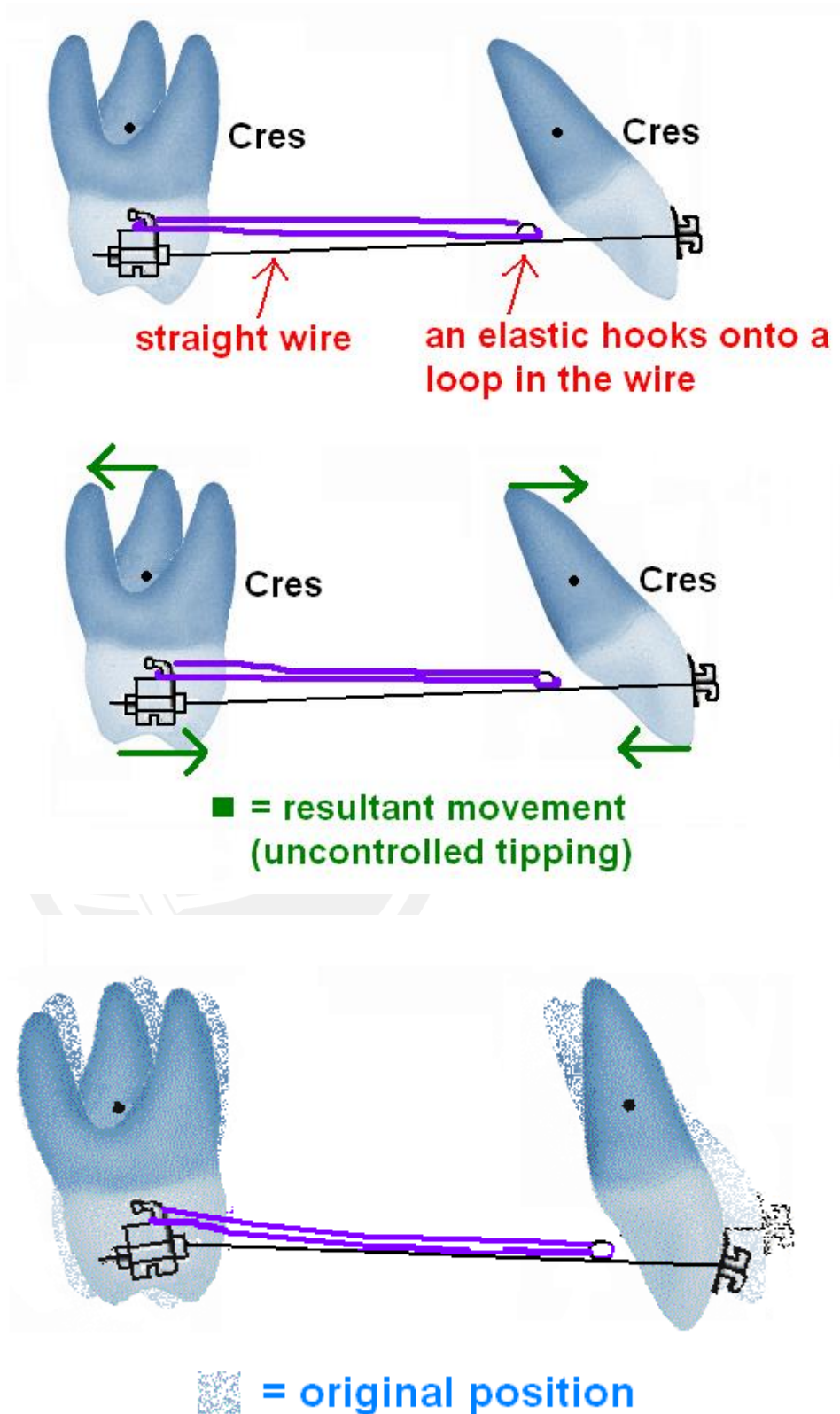
Bằng cách thay đổi tỷ lệ  $M / F$ , có thể tạo ra các tâm xoay khác nhau. Hình 40 thể hiện tác động của việc thay đổi tỷ lệ  $M / F$  đối với chuyển động nghiêng răng có kiểm soát. Nếu tỷ lệ  $M / F$  giảm ( $M$  không đổi hoặc giảm và  $F$  tăng), thì ta có chuyển động tịnh tiến nhiều hơn bởi vì tâm xoay đi về phía chóp răng (nói cách khác, ra xa so với tâm cản, hướng tới vô cùng). Nếu tỷ số  $M / F$  được tăng lên bằng cách tăng  $M$  hoặc giảm lực, sẽ có nhiều chuyển động xoay hơn vì tâm xoay sẽ di chuyển về phía tâm cản (nói cách khác nó di chuyển về phía rìa cản nhiều hơn so với vị trí trước đó của nó).



Hình 40: Tác động khi thay đổi tỉ lệ momen/lực ( $M/F$ )

#### 8.4. SỰ DI CHUYỂN KHI LỰC VÀ HỆ THỐNG LỰC THAY ĐỔI

Chúng ta có thể áp dụng kiến thức đã học từ phần hệ thống lực cân bằng vào một ví dụ thực tế như kéo lui răng cửa. Sử dụng một răng hàm lớn làm neo, ta không thể chỉ đặt dây cung vào giữa răng cửa và răng hàm lớn rồi dùng một loop trên dây cung cùng với một chun kéo lui được bởi vì tình huống này sẽ tạo ra kết quả là chuyển động nghiêng răng không kiểm soát (do tâm xoay trùng với tâm cản). (hình 41)

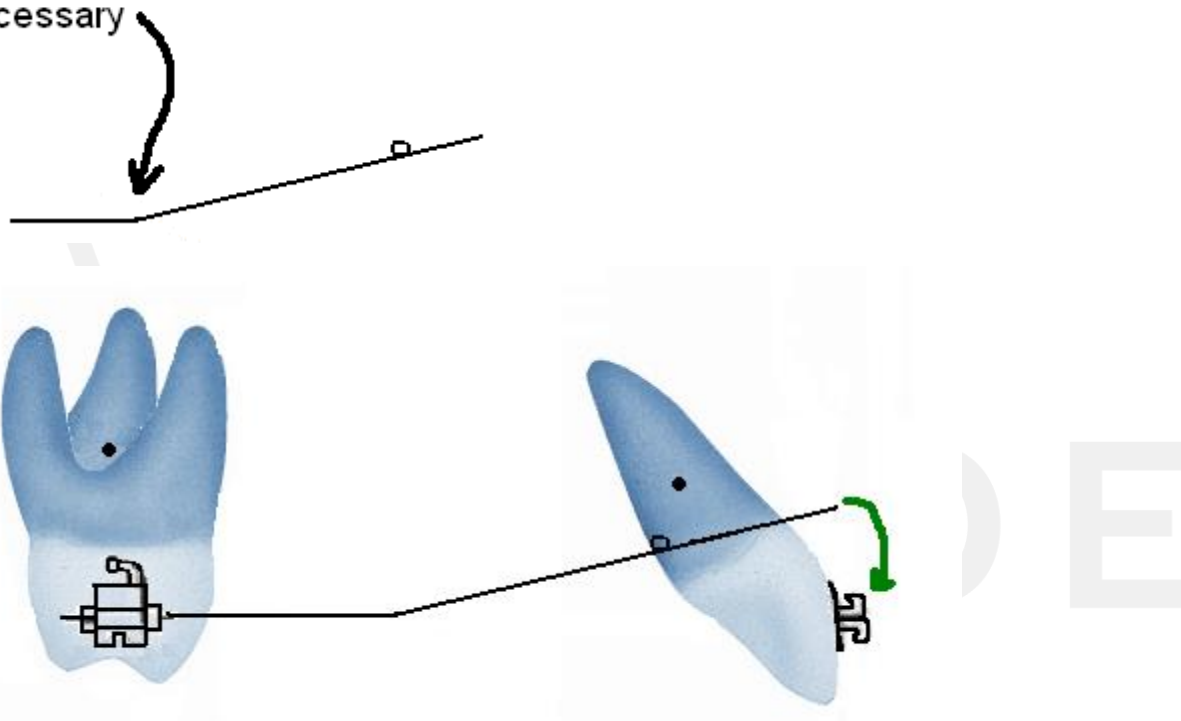


Hình 40: Kéo lui răng cửa bằng chun móc lên loop trên dây cung: tạo ra chuyển động nghiêng răng không kiểm soát.



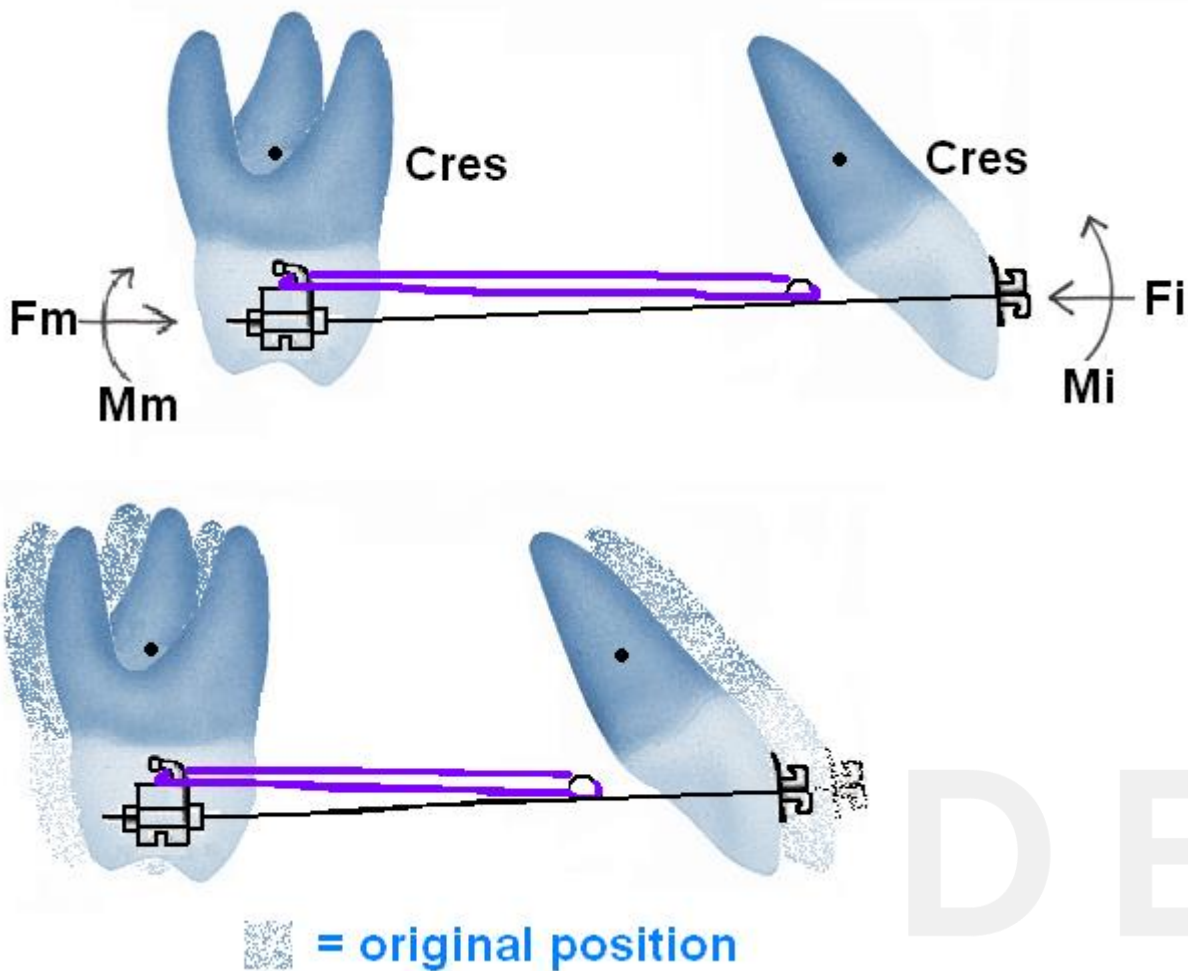
Để kiểm soát sự di chuyển, ta cần thêm một momen vào thân răng để chống lại momen xoay gây ra bởi lực kéo, tạo ra chuyển động tịnh tiến thuần túy nhất có thể (xem lại hệ thống cân bằng lực). Chúng ta có thể tạo ram omen tại thân răng bằng cách bẻ dây lại vị trí mà răng có xu hướng nghiêng (có kiểm soát) khi đặt dây cung vào. Ví dụ sau minh họa cho ý này (Hình 42).

In order to produce a moment as well as a force, a bend in the wire is necessary



Hình 42: Tạo ra một momen bằng cách bẻ trên dây, cùng với lực trên loop của dây.

Đối với dây cung nằm trong rãnh mắc cài răng cửa, dây cung được buộc nhẹ nhàng tại vị trí. Khi nó được đặt vào đúng vị trí và kéo bằng chun, nó sẽ sinh ra các lực sau đây lên hai răng đã được đề cập ( $F_m$  và  $M_m$  là lực và momen tác dụng lên răng hàm,  $F_i$  và  $M_i$  là lực và momen tác động lên răng cửa).



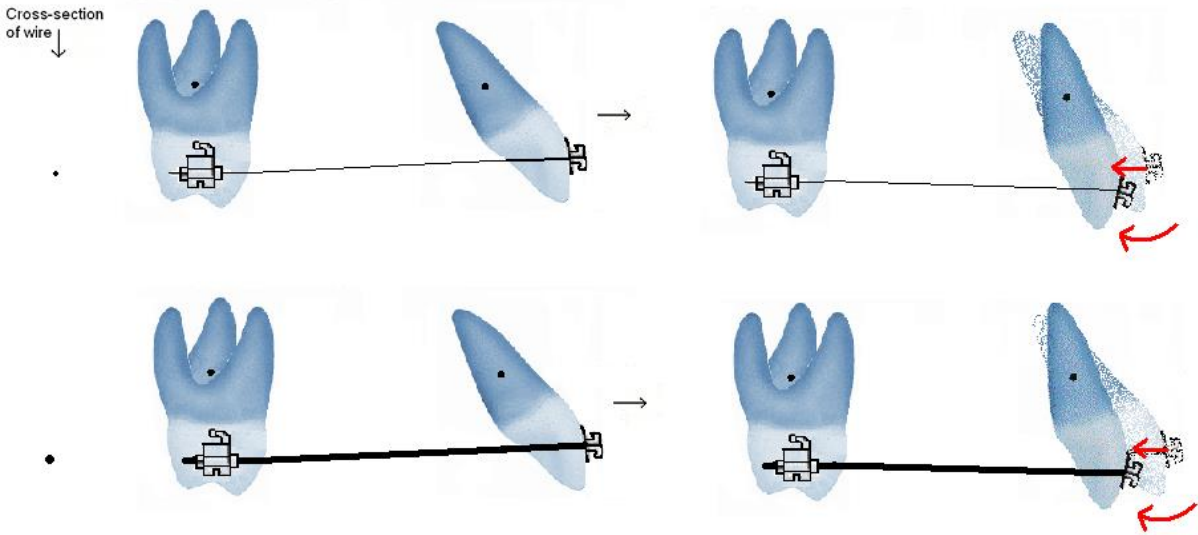
Hình 43: chuyển động kết quả với bề dây và loop trên dây cung chính là kéo lui răng cửa (ngiên răng là có kiểm soát và là nghiêng tối thiểu)

Ví dụ này chứng minh rằng bằng cách điều chỉnh tỷ lệ  $M / F$ , chúng ta có thể tạo ra hiệu ứng di chuyển tịnh tiến như mong muốn (Hình 43). Tỷ lệ  $M / F$  này có thể được điều chỉnh tùy thuộc vào mục tiêu (có thể mong muốn có một chút chuyển động nghiêng răng). Tỷ lệ  $M / F$  có thể được điều chỉnh cho phù hợp, và nếu có sự kiểm soát của các chuyển động, mục tiêu sẽ đạt được.

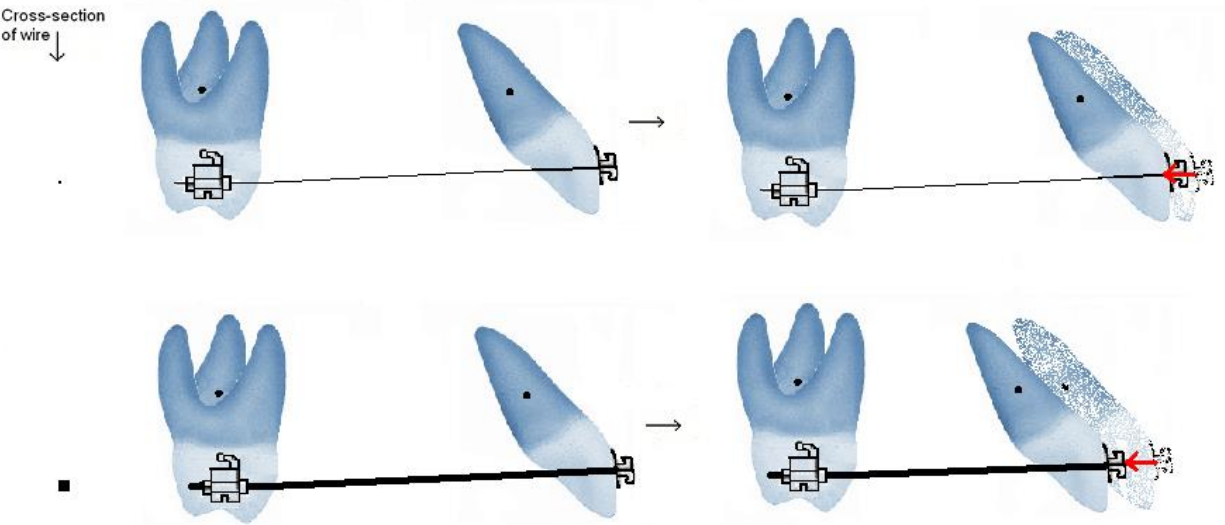
Tỷ số  $M / F$  không chỉ bị ảnh hưởng bởi cách kéo chun và bề dây cung. Loại chun cũng sẽ ảnh hưởng tới cường độ lực tác động lên hệ thống. Hơn nữa, loại dây (tròn hay vuông), cũng như đường kính của nó cũng ảnh hưởng đến tỉ lệ  $M/F$ .

Nếu sử dụng dây tròn thay vì dây vuông, sẽ xảy ra hiện tượng nghiêng răng không kiểm soát, vì răng có thể quay xung quanh dây (mắc cài có rãnh hình vuông trong khi dây cung lại hình tròn) (Hình 44). Mặt khác, nếu sử dụng dây vuông, dây sẽ lấp đầy rãnh mắc cài (hình vuông khít với hình vuông) (Hình 45). Kết quả là, sẽ tạo ra

một momen khi kéo lui răng chống lại momen đáng lẽ gây ra sự nghiêng răng không kiểm soát. Ngoài ra, kích thước của dây cũng sẽ ảnh hưởng đến kết quả. Một dây nhỏ hơn sẽ bị biến dạng nhiều hơn một dây lớn hơn, do đó các chuyển động tịnh tiến của răng được thực hiện tốt nhất trên những dây lớn hơn vì chúng sẽ ít lệch hơn và giữ nguyên hình dạng, do đó giúp hướng dẫn chuyển động.



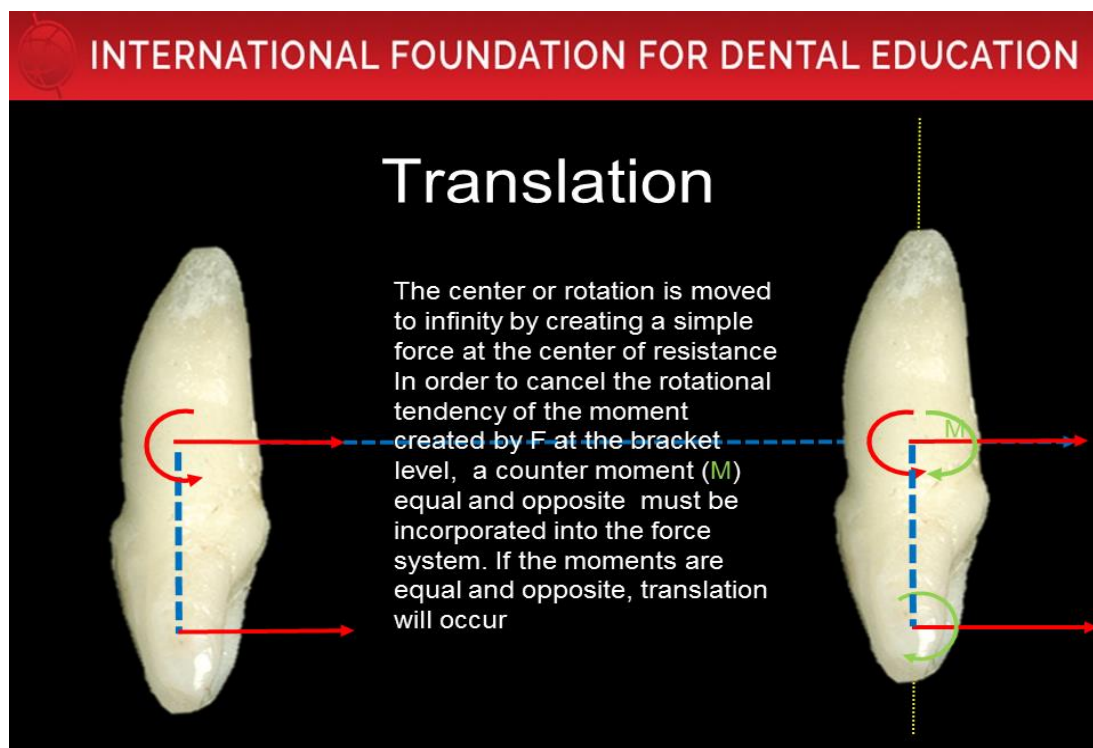
Hình 44: Cơ chế trượt (trong kéo lui răng nanh) trên dây tròn với 2 đường kính khác nhau



Hình 45: : Cơ chế trượt (trong kéo lui răng nanh) trên dây vuông với 2 đường kính khác nhau

## 8.5. HỆ LỰC CÂN BẰNG

Vấn đề với các hệ thống lực được mô tả ở trên là các lực được đề cập thường được đặt ở tâm cản. Không thể đặt mắc cài ở tâm cản được vì nó nằm ở bề mặt chân răng. Giải pháp cho vấn đề này là xem xét đến các hệ thống lực cân bằng. Hệ lực cân bằng là hai lực bằng nhau theo cả ba chiều (x, y, z), có mômen bằng nhau và tạo ra cùng tác dụng lên vật (hoặc răng). Trong chỉnh nha, các hệ lực cân bằng tạo ra tác dụng giống nhau cho dù hệ thống lực được đặt ở tâm cản hay ở mức thân răng (mắc cài/tube).



Hình 46: Ví dụ về hệ lực cân bằng

Hệ lực nào sẽ tạo ra ở B cùng một tác dụng (tịnh tiến) như ở A, trong đó hệ lực ở B tác dụng vào thân răng chứ không phải tại tâm cản như ở A (Hình 46)? Sử dụng những khái niệm được thảo luận phía trên cùng với tỉ lệ momen/lực, chúng ta có thể trả lời cho vấn đề này.

lê

(A)

$$F1 = -300g$$
$$\Sigma M = 0$$

(B)

$$F2 = -300g$$

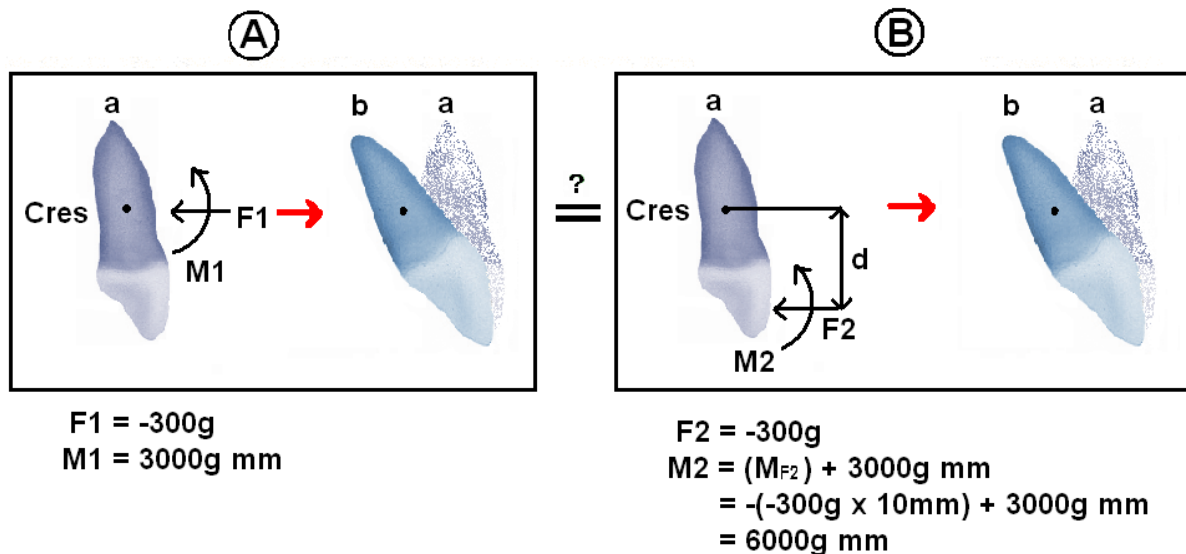
$$d = 10mm$$

$$M = F2 \times d = -3000g \text{ mm}$$

(this is the moment produced by the force F2 on the crown of the tooth)

Riêng F2 sẽ tạo ra sự nghiêng răng không kiểm soát vì tạo ra momen trên răng và răng đang xoay quanh tâm cân (tâm xoay = tâm cân). Do đó, để tạo ra một chuyển động tịnh tiến trong Hệ thống B tương đương với Hệ thống A, cần có một momen ở thân răng ngược hướng momen từ F2, sao cho momen tổng trên Hệ thống B bằng 0 (như trong Hệ thống A). Do đó, momen là  $M = + 3000g \text{ mm}$ .

Ví dụ: Hãy xem xét hệ thống lực cân bằng cần thiết cho chuyển động chân răng (Hình 47)



Hình 47: Tính toán để quyết định hệ thống lực cho di chuyển chân răng.

Trong ví dụ này, Hệ A có một lực và mômen tác động tại tâm cân để tạo ra chuyển động chân răng mong muốn. Trong Hệ thống B, có một momen từ F2 đặt tại thân răng và không nằm tại tâm cân của răng, cần được kháng lại để kiểm soát được tâm xoay. Để tạo ra sự nghiêng răng có kiểm soát bổ sung, cần đặt thêm momen lên răng để có được sự cân bằng trong hệ thống B, như trong hệ thống A.

Một số gợi ý để kiểm soát chuyển động,

**\* Tốt hơn là thay đổi momen chứ không thay đổi lực.**

- a) Đối với nghiêng răng có kiểm soát, cần giảm momen (M/F)
- b) Đối với chuyển động tịnh tiến, điều chỉnh momen để có hệ lực cân bằng
- c) Neo chặn thân răng khi di chuyển chân răng (nghĩa là tăng momen)
- d) Di chuyển tịnh tiến sẽ không xảy ra chỉ bằng cách tăng lực tác động lên vật.

M / F tại tâm cân quyết định các tác động đến PDL. Trong vùng PDL bị kéo căng (ra khỏi hướng di chuyển của răng), xương được lắng đọng và xương ở vùng PDL bị nén (ở hướng di chuyển của răng) bị tiêu đi.

Đừng quên rằng độ lớn của M / F sẽ phụ thuộc vào chiều dài chân răng / hình thái xương (vì khoảng cách từ mắc cài đến tâm cân có thể thay đổi). Ví dụ, răng ngắn hơn yêu cầu M / F thấp hơn để dịch chuyển tịnh tiến so với răng dài hơn.

## **9. NEO CHẶN**

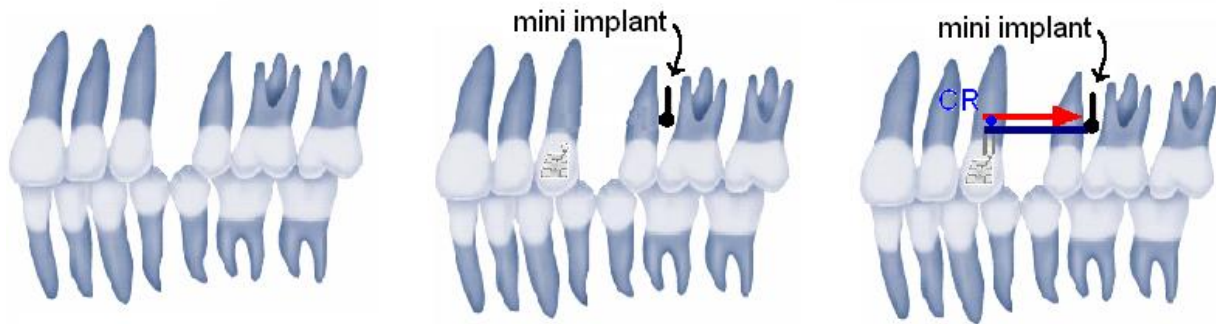
---

Neo chặn trong chỉnh nha là một vấn đề rất quan trọng vì nó giúp chống lại những di chuyển không mong muốn. Định luật III Newton rất quan trọng khi thảo luận về neo chặn. Nhắc lại rằng mỗi lực tác động đều có một phản lực cân bằng và ngược hướng. Vì vậy, hệ thống lực dùng để di chuyển răng sẽ tạo ra một phản lực cân bằng và ngược hướng lên hệ thống neo chặn. Neo chặn có thể nằm trên cùng một cung hàm, neo chặn liên hàm hoặc neo chặn ngoài miệng, mỗi loại sẽ tạo ra mức độ ổn định và chống lại các chuyển động không mong muốn khác nhau. Ví dụ, răng, khẩu cái, hệ thống thân kinh cơ, implants và các cấu trúc ngoài miệng có thể đóng vai trò neo chặn.

Mức độ neo chặn cần thiết phụ thuộc vào kế hoạch điều trị. Ví dụ, để đóng một khoảng hở răng có 3 điểm cơ bản; chỉ kéo lui nhóm răng trước (neo nhóm răng sau tại chỗ), kéo lui các răng trước và di gần các răng sau, hoặc chỉ di gần nhóm răng sau.

Có thể neo chặn tối đa bằng cách sử dụng implants (micro, mini, khẩu cái), và khí cụ ngoài mặt (headgears). Neo chặn tối đa xảy ra khi đơn vị neo chặn không di chuyển khi răng hoặc nhóm răng được di chuyển. Sẽ rất khó để đạt được điều này

khi chỉ dùng các khí cụ trong miệng (mà không có implants). Một ví dụ về khí cụ trong miệng cho khả năng neo chặn lớn (mặc dù không thể lớn bằng hệ thống neo chặn tối đa khác) là khí cụ liên hàm Herbst.



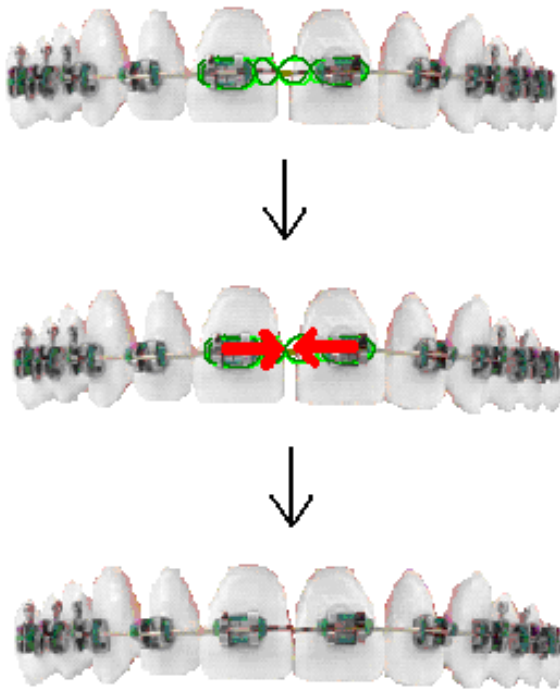
Hình 48: Dùng mini-implants trong kéo lui răng nanh

Việc sử dụng micro-implants đang trở nên phổ biến hơn trong chỉnh nha. Ví dụ sau đây sẽ cho thấy cách di xa răng nanh tịnh tiến bằng cách sử dụng micro-implant (Hình 48). Trong ca này, di xa răng nanh tịnh tiến đã xảy ra vì lực tác động nằm gần tâm cản. Chú ý rằng với implants (đặc biệt với những implant cắm ở mặt ngoài xương ổ răng) sẽ có những chuyển động không mong muốn trên mặt phẳng khác (ra phía ngoài). Điều này có thể được hạn chế bằng loại dây cung sử dụng trong hệ thống (xem phần thảo luận về dây cung).

Neo chặn trung bình xảy ra khi đơn vị neo chặn có thể được di chuyển, nhưng ít hơn so với khối răng đang được di chuyển. Neo chặn trung bình thường đạt được bằng cách sử dụng các khí cụ trong miệng hoặc neo chặn bằng nhóm răng.

Có thể kết hợp neo chặn tối đa và neo chặn trung bình. Ví dụ, trong ca nhỏ răng hàm nhỏ thứ hai, khi ta muốn di xa răng hàm nhỏ thứ nhất nhưng muốn ngăn sự di gần của răng hàm lớn thứ nhất, ta có thể neo răng hàm lớn thứ nhất với răng hàm lớn thứ hai. Nếu chúng ta cố gắng kéo lui toàn bộ khối răng trước thì cần phải có neo chặn bổ sung, và có thể dùng headgear. Có thể tăng cường hệ thống neo chặn hoặc bằng cách tăng số lượng răng được liên kết với nhau hoặc bằng cách bổ sung neo chặn ngoài miệng, phụ thuộc vào kết quả điều trị mong muốn.

Trường hợp không có neo chặn là trường hợp chuyển động tương hỗ, chẳng hạn như đóng khe thưa (Hình 49).



Hình 49: Chuyển động tương hỗ trong đóng khe thưa

## 9.1. ỨNG DỤNG

### 9.1.1. Kéo lui răng nanh

Để đóng khoảng còn lại sau khi nhổ răng hàm nhỏ, cần phải kéo lui răng nanh trước, sau đó là răng cửa, hoặc cách khác, có thể kéo lui cả khối sáu răng trước. Để minh họa cho cơ học kéo lui thì ví dụ này sẽ lựa chọn kéo lui răng nanh. Răng chịu lực di xa dọc theo sự hướng dẫn của dây cung. Do lực nằm về phía nhai so với tâm cân nên răng có chuyển động nghiêng. Chuyển động nghiêng răng này bị kháng lại bởi cặp lực tạo ra bởi mắc cài và dây cung, tạo ra rất ít thay đổi trong góc của trục dọc răng. Cặp lực kháng này phụ thuộc vào kích thước và hình dạng thiết diện dây cung. Dây cung cần nằm gọn trong rãnh mắc cài để tạo ra được cặp lực. Kết quả của tác động này là một chiếc răng nanh được kéo lui dựng trục có chân song song với chân của các răng liền kề.

### 9.1.2. Làm trôi để làm tăng chiều dài thân răng lâm sàng (CCL) và cắm implant

Ứng dụng của di chuyển răng là một phần trong chỉnh nha nhưng cũng là một phần của nhiều chuyên ngành khác. Ví dụ, nếu chúng ta muốn tăng chiều dài thân răng lâm sàng của một răng trong trường hợp không thể phẫu thuật nha chu để đạt mục đích này (ví dụ trường hợp răng nằm trong vùng thẩm mỹ phía trước) thì làm trôi răng nhờ chỉnh nha là một lựa chọn. Làm trôi răng bằng chỉnh nha có thể nhanh



hoặc chậm phụ thuộc vào mục tiêu điều trị, và phụ thuộc vào cơ học (lực) của các khí cụ chỉnh nha được sử dụng. Ví dụ, làm trôi răng bằng chỉnh nha có thể được sử dụng để tạo chỗ cắm implant.

#### 11. Gợi ý đọc thêm

Andrews, L. F. (1979). "The straight-wire appliance." *British Journal of Orthodontics* 6(3): 125-143.

Antoszewska, J. and N. Küçükkeles (2011). *Biomechanics of Tooth-Movement: Current Look at Orthodontic Fundamental*, INTECH Open Access Publisher.

Barlow, M. and K. Kula (2008). "Factors influencing efficiency of sliding mechanics to close extraction space: a systematic review." *Orthodontics & craniofacial research* 11(2): 65-73.

Beertsen, W., C. A. McCulloch and J. Sodek (1997). "The periodontal ligament: a unique, multifunctional connective tissue." *Periodontology* 2000 13(1): 20-40.

Begg, P. R. (1954). "Stone Age man's dentition: with reference to anatomically correct occlusion, the etiology of malocclusion, and a technique for its treatment." *American Journal of Orthodontics* 40(4): 298-312.

Bridges, T., G. King and A. Mohammed (1988). "The effect of age on tooth movement and mineral density in the alveolar tissues of the rat." *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 93(3): 245-250.

Brudvik, P. and P. Rygh (1993). "The initial phase of orthodontic root resorption incident to local compression of the periodontal ligament." *The European Journal of Orthodontics* 15(4): 249-263.

Burstone, C. J. (1962). "Rationale of the segmented arch." *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 48(11): 805-822.

Burstone, C. J. (2011). "Application of bioengineering to clinical orthodontics." *Orthodontics-E-Book: Current Principles and Techniques*: 345.

Burstone, C. J. and H. A. Koenig (1974). "Force systems from an ideal arch." *American journal of orthodontics* 65(3): 270-289.

Burstone, C. J. and H. A. Koenig (1988). "Creative wire bending—the force system from step and V bends." *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 93(1): 59-67.

Burstone, C. J. and R. J. Pryputniewicz (1980). "Holographic determination of centers of rotation produced by orthodontic forces." *American journal of orthodontics* 77(4): 396-409.

Cahill, D. R. and S. C. Marks (1980). "Tooth eruption: evidence for the central role of the dental follicle." *Journal of Oral Pathology & Medicine* 9(4): 189-200.

Cai, Y., X. Yang, B. He and J. Yao (2015). "Finite element method analysis of the periodontal ligament in mandibular canine movement with transparent tooth correction treatment." *BMC oral health* 15(1): 106.

Caputo, M., C. Di Luzio, A. Bellisario, F. Squillace and M. L. Favale (2017). "Evaluation Of The Effectiveness Of Clear Aligners Therapy In Orthodontic Tooth Movement."

Castroflorio, T., F. Garino, A. Lazzaro and C. Debernardi (2013). "Upper-incisor root control with Invisalign appliances." *J Clin Orthod* 47(6): 346-351.

Chen, G., F. Teng and T.-M. Xu (2016). "Distalization of the maxillary and mandibular dentitions with miniscrew anchorage in a patient with moderate Class I bimaxillary dentoalveolar protrusion." *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 149(3): 401-410.

Choy, K., E.-K. Pae, K.-H. Kim, Y. C. Park and C. J. Burstone (2002). "Controlled space closure with a statically determinate retraction system." *The Angle Orthodontist* 72(3): 191-198.

Cobo, J., A. Sicilia, J. Argüelles, D. Suárez and M. Vijande (1993). "Initial stress induced in periodontal tissue with diverse degrees of bone loss by an orthodontic force: tridimensional analysis by means of the finite element method." *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 104(5): 448-454.

Cope, J. (2011). "An interview with Jason Cope." *Dental Press Journal of Orthodontics* 16(2): 36-46.

Epstein, M. B. (2002). Benefits and rationale of differential bracket slot sizes: the use of 0.018-inch and 0.022-inch slot sizes within a single bracket system.

Fiorelli, G., B. Melsen and C. Modica (2001). "Differentiated orthodontic mechanics for dental midline correction." *Journal of clinical orthodontics: JCO* 35(4): 239.

Garino, F., T. Castroflorio, S. Daher, S. Ravera, G. Rossini, G. Cugliari and A. Deregibus (2016). "Effectiveness of composite attachments in controlling upper-molar movement with aligners." *J Clin Orthod* 50(6): 341-347.

Gebeck, T. R. and L. L. Merrifield (1995). "Orthodontic diagnosis and treatment analysis—concepts and values. Part I." *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 107(4): 434-443.

Gebeck, T. R. and L. L. Merrifield (1995). "Orthodontic diagnosis and treatment analysis—concepts and values: part II." *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 107(5): 541-547.

Geramy, A., K. Tanne, M. Moradi, H. Golshahi and Y. Farajzadeh Jalali (2016). "Finite element analysis of the convergence of the centers of resistance and rotation in extreme moment-to-force ratios." *Int Orthod* 14(2): 161-170.

Geron, S., R. Romano and T. Brosh (2004). "Vertical forces in labial and lingual orthodontics applied on maxillary incisors—a theoretical approach." *The Angle Orthodontist* 74(2): 195-201.

Giancotti, A. and A. A. Gianelly (2001). "Three-Dimensional Control in Extraction Cases Using a Bidimensional Approach." *World Journal of Orthodontics* 2(2).

Giancotti, A., P. Mozzicato and M. Greco (2012). "En masse retraction of the anterior teeth using a modified bidimensional technique." *Journal of Clinical Orthodontics* 46(5): 267.

Jacobs, R. and D. v. Steenberghe (1994). "Role of periodontal ligament receptors in the tactile function of teeth: a review." *Journal of periodontal research* 29(3): 153-167.

Kim, S.-J., J.-W. Kim, T.-H. Choi and K.-J. Lee (2014). "Combined use of miniscrews and continuous arch for intrusive root movement of incisors in Class II division 2 with gummy smile." *The Angle Orthodontist* 84(5): 910-918.

Koenig, H. A. and C. J. Burstone (1989). "Force systems from an ideal arch—large deflection considerations." *The Angle Orthodontist* 59(1): 11-16.

Kojima, Y. and H. Fukui (2014). "A finite element simulation of initial movement, orthodontic movement, and the centre of resistance of the maxillary teeth connected with an archwire." *European Journal of Orthodontics* 36(3): 255-261.

Krishnan, V. and Z. e. Davidovitch (2006). "Cellular, molecular, and tissue-level reactions to orthodontic force." *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 129(4): 469. e461-469. e432.

Kurol, J. and P. Owman-Moll (1998). "Hyalinization and root resorption during early orthodontic tooth movement in adolescents." *The Angle orthodontist* 68(2): 161-166.

Kusy, R. P. and J. C. Tulloch (1986). "Analysis of moment/force ratios in the mechanics of tooth movement." *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 90(2): 127-131.

Lavigne, G., J. Kim, C. Valiquette and J. Lund (1987). "Evidence that periodontal pressoreceptors provide positive feedback to jaw closing muscles during mastication." *Journal of Neurophysiology* 58(2): 342-358.

Lekic, P. and C. McCulloch (1996). "Periodontal ligament cell populations: the central role of fibroblasts in creating a unique tissue." *The Anatomical Record* 245(2): 327-341.

Lindauer, S. J. (2001). *The basics of orthodontic mechanics*. Seminars in Orthodontics, Elsevier.

McCulloch, C. A. and S. Bordin (1991). "Role of fibroblast subpopulations in periodontal physiology and pathology." *Journal of periodontal research* 26(3): 144-154.

Mcculloch, C. A., P. Lekic and M. D. Mckee (2000). "Role of physical forces in regulating the form and function of the periodontal ligament." *Periodontology* 2000 24(1): 56-72.

Meling, T. R., J. Ødegaard and E. Ø. Meling (1997). "On mechanical properties of square and rectangular stainless steel wires tested in torsion." *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 111(3): 310-320. Melsen, B. (1999). "Biological reaction of alveolar bone to orthodontic tooth movement." *The Angle orthodontist* 69(2): 151-158.

